

CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE AVALIAÇÃO “*SMART CITY*” COM RECURSO INTEGRADO A MAPAS COGNITIVOS E AO INTEGRAL DE CHOQUET

Mariana da Silva Castanho

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Gestão

Orientador:  
Professor Doutor Fernando Alberto Freitas Ferreira  
ISCTE Business School  
Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

Junho 2018

CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE AVALIAÇÃO “*SMART CITY*” COM RECURSO INTEGRADO A MAPAS COGNITIVOS E AO INTEGRAL DE CHOQUET

Mariana da Silva Castanho

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Gestão

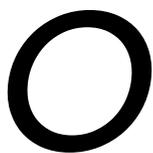
Orientador:

Professor Doutor Fernando Alberto Freitas Ferreira  
ISCTE Business School  
Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

Junho 2018

## AGRADECIMENTOS

“



*valor das coisas não está no tempo em que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis”*

(Fernando Pessoa). Com a presente dissertação, dou por concluída

mais uma etapa da minha vida e gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de certa forma, contribuíram para esta conquista.

Antes de mais, quero agradecer à minha família, em particular aos meus pais e irmão, pelo apoio e força incondicional sempre dados para ser melhor e fazer sempre mais. À minha irmã, hoje uma estrela que me guia, um muito obrigado por ajudar-me a ter a coragem para encarar os obstáculos que se cruzam no meu caminho e o alento para nunca desistir. Quero ainda agradecer de forma especial ao Antelmo Caboz, pelo seu apoio incondicional e companheirismo de todas as horas, sempre me transmitindo a confiança de que sou capaz de realizar todas as minhas ambições.

Em segundo lugar, desejo expressar a minha profunda gratidão ao Professor Doutor Fernando Alberto Freitas Ferreira, meu orientador, por tornar esta dissertação concretizável e por nunca me ter deixado fraquejar, manifestando sempre o seu apreço, firme orientação, dedicação e total disponibilidade para me encaminhar ao longo de todo este percurso.

Agradeço de uma forma muito carinhosa a todos os meus amigos, em particular à Luísa Olival, ao Bryan Walter, à Bárbara Miguel e à Rita Teixeira, que percorreram comigo este percurso nestes últimos dois anos, bem como por me transmitirem determinação e coragem para dar o meu melhor nesta dissertação.

Agradeço, igualmente, a todos os elementos que fizeram parte do painel de decisores: Ana Cardoso, Bernardo Paiva, Francisco Manso, Francisco Pombas, Luís Carvalho e Lea Lima. Foi graças à sua disponibilidade, esforço, partilha de valores e experiências que foi possível a realização da parte empírica deste estudo. Deixo, também, uma palavra especial de agradecimento ao Dr. Eduardo Silva, representante do Departamento de Ambiente e Energia da Câmara Municipal de Lisboa, através da Associação Lisboa E-Nova, por se ter disponibilizado para a sessão de validação.

A todos,  
O meu Muito Obrigada!

# CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE AVALIAÇÃO “*SMART CITY*” COM RECURSO INTEGRADO A MAPAS COGNITIVOS E AO INTEGRAL DE CHOQUET

## RESUMO ANALÍTICO

A rápida urbanização, o elevado crescimento populacional, o desenvolvimento tecnológico, o impacto ambiental e o bem-estar da sociedade nas áreas urbanas tornaram-se, ao longo do tempo, preocupações cada vez mais desafiadoras. Esta tendência está relacionada com a complexidade inerente aos múltiplos fatores a serem considerados na avaliação das *smart cities* (i.e., cidades que promovem melhorias na qualidade de vida dos cidadãos por meio da combinação de novas tecnologias e práticas sustentáveis) e o vasto número de indicadores de performance necessários para a avaliação destas cidades, algo que dificulta o processo de tomada de decisão. Com base nos princípios da abordagem *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA), o presente estudo visa integrar técnicas de mapeamento cognitivo com o Integral de Choquet (IC) para desenvolver um modelo multicritério, denominado SMART-C, que permita facilitar o processo de avaliação das *smart cities*. Para o efeito, a pesquisa incluiu a identificação de critérios de avaliação e das suas respetivas interações, utilizando um painel de especialistas com conhecimento especializado na temática em análise. Os resultados foram validados tanto pelos membros do painel como por um representante do Departamento de Ambiente e Energia da Câmara Municipal de Lisboa, através da Associação Lisboa E-Nova, que confirmou que o sistema de avaliação desenvolvido permite distinguir as cidades de acordo com a sua *smartness* urbana. As vantagens e limitações decorrentes deste estudo são também objeto de análise e discussão.

**Palavras-Chave:** Desenvolvimento Sustentável; Mapas Cognitivos; MCDA; Integral de Choquet; *Smart Cities*; SMART-C; Sustentabilidade.

# **SMART-C: DEVELOPING A “SMART CITY” ASSESSMENT SYSTEM USING COGNITIVE MAPS AND THE CHOQUET INTEGRAL**

## ABSTRACT

Rapid urbanization, high urban population growth, technological development, environmental impact, and human well-being in urban areas have become, over the years, increasingly challenging concerns. This trend is related to both the complexity inherent to the multiple factors to be considered when evaluating “smart” cities (*i.e.*, cities that promote improvements in citizens’ quality of life through a combination of new technologies and environmentally sustainable practices) and the myriad evaluation indicators needed for their assessment, which hinders decision making. Based on the principles of the multiple criteria decision analysis (MCDA) approach, this study sought to integrate cognitive mapping and the Choquet integral (CI) to develop an assessment system that facilitates the evaluation of smart cities, which was coined SMART-C. The research included identifying evaluation criteria and their respective interactions using a panel of experts with specialized knowledge in the subject under analysis. The results were validated both by the panel members and a representative of the Environment and Energy Department of the Lisbon City Council, through the Lisboa E-Nova Association, who confirmed that our evaluation system allows cities to be distinguished according to how strongly they develop their “smartness”. The advantages and limitations of the proposed framework are also discussed.

**Keywords:** Choquet Integral; Cognitive Maps; MCDA; Smart Cities; SMART-C; Sustainability; Sustainable Development.

## SUMÁRIO EXECUTIVO

Com o passar dos anos, a população residente nos meios rurais tem vindo a deslocar-se para os meios urbanos, originando uma maior concentração populacional nas cidades. Desta forma, as áreas urbanas enfrentam grandes desafios no que diz respeito ao seu crescimento, performance e competitividade. Em grande parte, isto deve-se à forte industrialização e ao aumento da população. Enquanto, em 2015, a população urbana da União Europeia era de 72%, estima-se que, em 2050, esta percentagem aumentará para 80%. Embora as cidades ocupem apenas 2% da superfície do planeta, acomodam cerca de 50% da população mundial, consomem 75% da energia total gerada e são responsáveis por 80% dos gases efeito estufa. Esta situação é alarmante para o planeta, sendo fulcral o desenvolvimento de soluções e a implementação de medidas estratégicas que possam ajudar na sua recuperação. Face ao exposto, as externalidades ambientais geradas, principalmente devido ao aumento desproporcional da população, à rápida urbanização, à alta dependência de veículos como meios de mobilidade, à industrialização desregulada e à produção em massa, suscitaram grandes preocupações quanto ao futuro e bem-estar tanto da sociedade como do planeta. Desta forma, tornou-se oportuno o desenvolvimento de novos métodos e formas inovadoras para gerir a complexidade da vida urbana. É precisamente daqui que surge o conceito de *smart city*, através do encadeamento entre desenvolvimento urbano, avanço tecnológico, inovação e globalização. *Smart city* é uma abordagem futurista para encarar os obstáculos desencadeados por uma população cada vez maior e marcada pelo incremento da densidade urbana, que beneficiará tanto o governo como as massas, tornando as cidades mais eficientes, sustentáveis e habitáveis. Uma *smart city* é, de facto, um ambiente que presta atenção às necessidades das pessoas, gere de forma racional os recursos existentes e desenvolve tanto um ambiente como uma economia sustentáveis. Por esta ordem de ideias, as *smart cities* apresentam benefícios económicos e sociais para as cidades. A nível económico, as políticas *smart* focam-se na redução de custos. A nível social, proporcionam inclusão social, com pessoas mais conscientes, informadas e educadas. Com efeito, são vários os autores que se têm debruçado sobre esta temática – *i.e.* avaliação das *smart cities* –, apesar dos seus estudos não se encontrarem isentos de limitações. De facto, é possível verificar que parte dos estudos analisados pecam por dar

maior foco a uma cidade específica, tendencialmente de pequena a média dimensão, outros não apresentam uma forma clara de como são definidos os critérios de avaliação e constata-se, ainda, a ausência ou dificuldade no cálculo dos ponderadores desses mesmos critérios. Neste sentido, e com o intuito de ultrapassar algumas das limitações metodológicas encontradas na literatura, o principal objetivo desta dissertação passa pela construção de um modelo de apoio à tomada de decisão que clarifique o processo de avaliação das *smart cities*. A presente dissertação recorre à abordagem *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA), caracterizada por uma base epistemológica construtivista e que permite a associação de elementos objetivos e subjetivos na resolução de problemas complexos. Através do auxílio de um grupo de especialistas de diferentes áreas que compõem uma *smart city* (*i.e.* tecnologia e soluções *smart*, poupança de energia e mobilidade, gestão integrada de edifícios, planeamento urbano e, ainda, um cidadão comum que marcou presença no sentido de representar a perspetiva do utilizador), serão aplicados métodos de estruturação e avaliação multicritério, especificamente mapas cognitivos e o Integral de Choquet (IC). Quanto às metodologias aplicadas, numa primeira fase – *fase de estruturação* – recorrer-se-á a técnicas de mapeamento cognitivo, através das quais será possível estruturar o problema em análise. Posteriormente, numa segunda fase – *fase de avaliação* – será aplicado o IC, uma ferramenta de agregação de informação para problemas complexos, que permite a análise cruzada entre critérios, dada a sua capacidade de lidar com a interdependência entre critérios de avaliação. Para tal, foram realizadas duas sessões de grupo, com duração aproximada de quatro horas cada, com um painel de especialistas na temática em estudo. Na primeira sessão, procedeu-se à definição do problema em análise sendo colocada uma *trigger question* (*i.e.* “Com base nos seus valores e experiência profissional, quais os fatores e as características da melhor *smart city*?”), que através da técnica de *post-its*, permitiu identificar e hierarquizar os critérios mais importantes para a avaliação das *smart cities*. Já na segunda sessão, o painel de especialistas procedeu à avaliação dos distritos de Portugal Continental e dos Arquipélagos da Madeira e dos Açores, através do cálculo do IC para cada alternativa. Concluída esta fase, foi ainda realizada uma sessão de validação com um elemento neutro e externo ao processo. Através da aplicação de técnicas multicritério de apoio à tomada de decisão, foi possível criar um índice de avaliação multicritério coerente, transparente e com forte aplicabilidade no âmbito das *smart cities*.

# ÍNDICE GERAL

Principais Abreviaturas Utilizadas .....	X
<b>Capítulo 1 – Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento Inicial .....	1
1.2. Objetivos Principais e de Suporte .....	2
1.3. Metodologia de Investigação .....	3
1.4. Estrutura .....	4
1.5. Resultados Esperados .....	5
<b>Capítulo 2 – Revisão da Literatura .....</b>	<b>6</b>
2.1. Sustentabilidade, Inovação e <i>Smart City</i> .....	6
2.2. Impactos Económico-Sociais das <i>Smart Cities</i> .....	14
2.3. Fundamentos de Gestão para a Avaliação das <i>Smart Cities</i> .....	16
2.4. Estudos Relacionados: Contributos e Limitações .....	17
2.5. Limitações Metodológicas Gerais .....	23
<i>Sinopse do Capítulo 2</i> .....	25
<b>Capítulo 3 – Bases Metodológicas e Técnicas Utilizadas .....</b>	<b>26</b>
3.1. O Apoio à Decisão Multicritério .....	26
3.1.1. A Abordagem MCDA .....	29
3.1.2. Paradigmas e Convicções Epistemológicas .....	32
3.1.3. Possíveis Contributos para a Avaliação <i>das Smart Cities</i> .....	33
3.2. Estruturação de Problemas de Decisão .....	35
3.2.1. <i>Problem Structuring Methods</i> e Mapeamento Cognitivo .....	36
3.2.2. Estruturação por Pontos de Vista .....	41
3.3. A Avaliação Multicritério .....	43
3.3.1. Avaliação Multicritério e os Métodos NAM .....	44
3.3.2. O Integral de Choquet .....	46
3.3.3. Vantagens e Limitações do Integral de Choquet .....	48
<i>Sinopse do Capítulo 3</i> .....	50

Capítulo 4 – Resultados e Análise .....	51
4.1. Mapa Cognitivo Coletivo .....	51
4.2. Árvore de Critérios .....	56
4.3. Aplicação do Integral de Choquet .....	57
4.4. <i>Ranking</i> de <i>Smart Cities</i> .....	81
4.5. Validação e Recomendações .....	82
<i>Sinopse do Capítulo 4</i> .....	85
Capítulo 5 – Conclusão .....	86
5.1. Principais Resultados e Limitações .....	86
5.2. Implicações Práticas para a Gestão .....	88
5.3. Futura Investigação .....	89
Referências Bibliográficas .....	91
Apêndice .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### FIGURAS

Figura 1: Exemplo de Mapa Cognitivo .....	41
Figura 2: Exemplo de um Árvore de Pontos de Vista .....	43
Figura 3: Momentos Registados Durante a Primeira Sessão de Grupo .....	53
Figura 4: Mapa Cognitivo Coletivo .....	54
Figura 5: Identificação dos Ramos Cognitivos e das Linhas de Argumentação das Áreas .....	56
Figura 6: Árvore dos Critérios .....	57
Figura 7: Momentos Registados Durante a Segunda Sessão de Grupo .....	58
Figura 8: Avaliação de <i>Smart Cities</i> .....	60
Figura 9: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Aveiro ..	61
Figura 10: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Beja ....	62
Figura 11: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Braga ..	63
Figura 12: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Bragança .....	64
Figura 13: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Castelo Branco .....	65
Figura 14: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Coimbra .....	66
Figura 15: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Évora ..	67
Figura 16: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Faro ....	68
Figura 17: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Funchal .....	69
Figura 18: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Guarda .....	70
Figura 19: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Leiria ..	71
Figura 20: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Lisboa .....	72
Figura 21: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Portalegre .....	73

Figura 22: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Porto ..	74
Figura 23: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para S. Miguel .....	75
Figura 24: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Santarém .....	76
Figura 25: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Setúbal .....	77
Figura 26: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Viana do Castelo .....	78
Figura 27: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Vila Real .....	79
Figura 28: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Viseu .....	80
Figura 29: <i>Ranking</i> de Alternativas Referentes ao Modelo .....	81
Figura 30: Análise do Mapa Cognitivo Coletivo e da Matriz de Interações .....	82
Figura 31: Comentários dos Resultados Alcançados .....	83

## TABELAS

Tabela 1: Métodos de Avaliação <i>Smart City</i> : Contribuições e Limitações .....	22
Tabela 2: Comparação das Abordagens MCDM e MCDA .....	28
Tabela 3: Classificação e Caraterização dos Atores .....	30
Tabela 4: Métodos de Estruturação de Problemas .....	38
Tabela 5: Parte da Matriz de Interações .....	59
Tabela 6: Matriz de Interações .....	100

## PRINCIPAIS ABREVIATURAS UTILIZADAS

AHP	– <i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	– <i>Analytic Network Process</i>
CRTs	– Critérios Principais
DRSA	– <i>Dominance-based Rough Set Approach</i>
ELECTRE	– <i>Elimination and Choice Expressing the Reality</i>
IC	– Integral de Choquet
MAUT	– <i>Multiple Attribute Utility Theory</i>
MCDA	– <i>Multiple Criteria Decision Analysis</i>
MCDM	– <i>Multiple Criteria Decision Making</i>
NAM	– <i>Non-Additive Measure</i>
NFC	– <i>Near Field Communication</i>
OR	– <i>Operational Research</i>
PCA	– <i>Principal Component Analysis</i>
PROMETHEE	– <i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations</i>
PSM	– <i>Problem Structuring Method</i>
PV	– Ponto de Vista
PVE	– Ponto de Vista Elementar
PVF	– Ponto de Vista Fundamental
SCA	– <i>Strategic Choice Approach</i>
SD	– <i>System Dynamics</i>
SODA	– <i>Strategic Options Development and Analysis</i>
SOM	– <i>Self-Organizing Maps</i>
SSM	– <i>Soft Systems Methodology</i>
TIC	– Tecnologias de Informação e Comunicação
VSM	– <i>Viable System Model</i>
WCED	– <i>World Commission on Environment and Development</i>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo faz referência à introdução da presente dissertação. **E** Deste modo, será realizado um breve enquadramento geral do estudo realizado, seguido dos seus objetivos gerais e de suporte, assim como da apresentação da metodologia seguida para a análise da problemática de investigação. Por fim, será ainda apresentada a estrutura da dissertação e os principais resultados esperados.

### 1.1. Enquadramento Inicial

Ao longo dos últimos anos, tem sido visível que as áreas urbanas enfrentam grandes desafios no que diz respeito ao seu crescimento, performance e competitividade, devido, em grande parte, à forte industrialização e ao aumento da população. Deste modo, as externalidades ambientais geradas, principalmente pelo aumento desproporcional da população, rápida urbanização, alta dependência de veículos como meios de mobilidade, industrialização desregulada e produção em massa, suscitaram grandes preocupações quanto ao futuro e bem-estar tanto da sociedade como do planeta (Yigitcanlar e Kamruzzaman, 2015). Segundo Letaifa (2015), as Nações Unidas estimaram que a população mundial irá duplicar entre 2010 (2.6 biliões) e 2050 (5.2 biliões), algo que evidencia a necessidade da criação de novas estratégias para melhorar o desempenho e a sustentabilidade das cidades.

*“Cities form the heart of a dynamic society”* (Kourtiti *et al.*, 2012: 229). Como tal, à medida que as cidades crescem, é necessário criar sistemas que possam lidar com todo o abastecimento tanto de água como alimentar, com o tratamento de resíduos e com os sistemas de tráfego urbano, sempre a pensar na qualidade e no bem-estar de todos os cidadãos e sem nunca prejudicar o futuro do planeta (Caragliu *et al.*, 2011). Neste sentido, surgiu, na década de 1990 (Albino *et al.*, 2015), o termo *smart city*, resultante da combinação entre desenvolvimento urbano, avanço tecnológico, inovação e globalização. Assim sendo, surge a necessidade de tornar as cidades cada vez mais

*smart*, de forma a mitigar os problemas emergentes da rápida urbanização, do aumento exponencial da densidade populacional e da escassez dos recursos do planeta (Sujata *et al.*, 2016; Eremia *et al.*, 2017).

A avaliação da *smartness* urbana é, assim, um assunto com maior relevância nos dias de hoje. Neste sentido, o tema escolhido para a presente dissertação centra-se na criação de um sistema de avaliação *smart city* que, através da combinação de técnicas de mapeamento cognitivo com o Integral de Choquet, irá permitir que se incorporem diversos critérios objetivos e subjetivos no processo de decisão, bem como ponderar e modelar as suas sinergias de forma transparente. Deste modo, será possível avaliar e gerir *smart cities*.

## 1.2. Objetivos Gerais e de Suporte

Tal como referido no ponto anterior, parece evidente que, ao longo dos últimos anos, as áreas urbanas têm vindo a enfrentar grandes desafios no que diz respeito ao seu crescimento, performance e competitividade devido, em grande parte, à rápida urbanização, ao aumento exponencial da densidade populacional e à escassez dos recursos do planeta. Ou seja, temos vindo a assistir à deslocação da população dos meios rurais para os meios urbanos e, com isso, levantam-se novas preocupações a nível da poluição e da produção de resíduos nas cidades, resultantes do aumento significativo do consumo de recursos naturais. Face ao exposto, torna-se cada vez mais evidente a necessidade de garantir o bem-estar populacional, através da criação de soluções e/ou políticas sustentáveis e *smart*, que permitam a resolução dos problemas das áreas urbanas. Uma *smart city* é, de facto, um ambiente que presta atenção às necessidades das pessoas, gere de forma racional os recursos existentes e desenvolve tanto um ambiente com uma economia sustentáveis.

É possível verificar que a *smartness* urbana se demonstra cada vez mais complexa nos processos de tomada de decisão, sendo assim evidente a necessidade de seguir novas abordagens na temática em estudo. Nesta ótica, o principal objetivo desta dissertação passa pelo ***desenvolvimento de um sistema de avaliação smart city***. Para que tal seja possível, serão aplicadas técnicas multicritério que conjuguem o recurso a mapas cognitivos com o Integral de Choquet (IC), permitindo um processo de avaliação de *smart cities* simplificado, estruturado e transparente. Neste sentido, é adotada em

todo o processo uma postura epistemológica construtivista, baseada numa lógica de aprendizagem contínua, orientada para o processo, com o propósito de identificar e avaliar as componentes que impulsionam a *smartness* urbana. Para que este objetivo seja alcançado, serão realizadas sessões presenciais com um grupo de especialistas das diversas áreas de uma *smart city*. Estas sessões permitirão a discussão e a organização dos critérios em *clusters* a ter em conta na avaliação das *smart cities*, capacitando, posteriormente, a avaliação das interações entre os principais *clusters* e, por fim, uma possível aplicabilidade do modelo desenvolvido em contexto real.

### **1.3. Metodologia de Investigação**

Conforme exposto, a presente dissertação visa a criação de um sistema multicritério para o processo de avaliação das *smart cities*, com recurso a metodologias assentes em princípios construtivistas. Para que este objetivo seja cumprido, numa fase inicial, proceder-se-á a uma revisão da literatura da temática em estudo, visando uma maior e melhor compreensão da avaliação de *smart cities*. De seguida, serão analisados alguns estudos relacionados nesta área, com o intuito de apurar as suas contribuições e limitações. Ainda nesta parte, serão apresentadas as metodologias que se pretende aplicar na componente empírica (*i.e.* mapeamento cognitivo e IC), assumindo sempre uma lógica de complementaridade e de aprendizagem contínua.

A aplicação integrada de mapas cognitivos com o IC – introduzido por Gustave Choquet em 1953 – facilitará a obtenção de respostas realistas e possibilitará a criação de um modelo mais adequado, transparente e com maior aplicabilidade na área. Na componente empírica, serão aplicadas as técnicas acima descritas que, com base na realização de duas sessões presenciais com um painel de especialistas, permitirá a estruturação do problema e a subsequente avaliação das *smart cities* com recurso ao IC.

#### 1.4. Estrutura

Fazem parte integrante desta dissertação a presente introdução (*Capítulo 1*), o corpo de texto (*Capítulo 2, 3 e 4*), a conclusão (*Capítulo 5*), as referências bibliográficas e um apêndice. Tendo por base a metodologia e os objetivos anteriormente estabelecidos, a presente dissertação encontra-se organizada da seguinte forma:

- O *Capítulo 1* remete para a presente introdução, na qual é abordado o tema em estudo, os objetivos gerais e de suporte, a metodologia de investigação e os resultados esperados;
- O *Capítulo 2* apresenta a revisão da literatura em torno da temática das *smart cities* e das respectivas implicações por estas geradas. Neste capítulo, foi procurado compreender a pertinência das *smart cities* na atualidade, sendo feita uma pesquisa sobre as metodologias já utilizadas e um levantamento dos seus contributos e limitações;
- O *Capítulo 3* aborda o enquadramento metodológico da abordagem multicritério de apoio à tomada de decisão, visando a análise dos seus elementos característicos, os seus paradigmas e as convicções epistemológicas subjacentes, bem como a identificação dos possíveis contributos da abordagem *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA) para a avaliação das *smart cities*. Por fim, são apresentadas as metodologias aplicadas na criação do sistema de avaliação a desenvolver, especificamente os mapas cognitivos e o IC;
- O *Capítulo 4* materializa a componente empírica do estudo, apresentando os resultados obtidos e a respetiva análise. Neste sentido, este capítulo encontra-se orientado para as fases de estruturação e de avaliação do problema, ilustrando a aplicação das técnicas de mapeamento cognitivo e do IC através das sessões de grupo. Por fim, é ainda realizada uma sessão de validação com um elemento neutro e externo ao processo;
- O *Capítulo 5* apresenta as conclusões obtidas, seguidas de uma análise aos principais resultados e às limitações do sistema desenvolvido. São ainda resumidas as principais implicações práticas do sistema alcançado para a avaliação das *smart cities*, bem como sugeridas linhas para futura investigação.

## 1.5. Resultados Esperados

Dado que o principal objetivo da presente dissertação foca-se na criação de um sistema de avaliação *smart cities*, conta-se que, no final, seja possível identificar e classificar quais os fatores a ter em consideração no processo de avaliação *smart cities*. Recorrendo a um grupo de decisores com experiência nas diferentes áreas da *smartness* urbana, pretende-se que, a partir da troca de experiências e partilha de conhecimentos, seja desenvolvido um modelo mais realista, claro e informado. Com efeito, a combinação de técnicas de cartografia cognitiva com o IC irá fomentar a discussão entre os elementos do painel de decisores em torno dos seus valores e pontos de vista relativamente à temática em estudo.

É esperado ainda que, através da abordagem MCDA, que assenta numa base construtivista, seja desenvolvido todo um processo de tomada de decisão com maior transparência e potencial de aplicabilidade. Só desta forma será possível elaborar um modelo transparente, mais realista, adequado e com elevada aplicabilidade prática, servindo de ferramenta de apoio à decisão para as entidades envolvidas na temática em análise. Por fim, outro dos resultados esperados com a realização desta investigação é a publicação dos resultados obtidos numa revista científica da especialidade.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DA LITERATURA

Neste segundo capítulo da presente dissertação, procura-se aprofundar os fundamentos e as abordagens existentes no âmbito da avaliação de *smart cities*. Como tal, serão desenvolvidos os seguintes tópicos: (1) entender os conceitos de sustentabilidade, inovação e *smart city*, assim como a sua associação; (2) determinar os impactos, tanto económicos como sociais, das *smart cities*; (3) perceber quais os fundamentos de gestão para a avaliação das *smart cities*; (4) identificar as metodologias já utilizadas por outros autores, bem como os respetivos contributos e limitações; e, por fim, (5) identificar as limitações gerais presentes nos métodos e práticas atuais. O desenvolvimento deste capítulo é essencial para enquadrar a necessidade da construção de um índice multicritério no contexto deste estudo.

#### 2.1. Sustentabilidade, Inovação e *Smart City*

De acordo com Fernandes *et al.* (2018), o termo *sustentabilidade* tem vindo a ganhar importância ao longo dos tempos, tanto a nível económico e social, como também a nível político. Este termo está fortemente relacionado com o objetivo de garantir às gerações futuras tanto um ambiente saudável como, também, melhores condições económicas e sociais.

As cidades são centros geradores de energia e matéria caracterizadas por inúmeras atividades humanas, desde económicas até culturais. Para sustentar as grandes populações, as cidades precisam de inúmeros recursos e serviços diversificados para garantir a sobrevivência dos cidadãos (Phillis *et al.*, 2017). Como tal, as externalidades ambientais geradas, principalmente, pelo aumento desproporcional da população, pela rápida urbanização, pela alta dependência de veículos como meio de mobilidade, pela industrialização desregulada e pela produção em massa, suscitaram grandes preocupações quanto ao futuro do bem-estar da sociedade a longo prazo (Yigitcanlar e Kamruzzaman, 2015). Assim, Ahvenniemi *et al.* (2017) realçam que a sustentabilidade é tipicamente caracterizada como a preocupação simultânea nos impactos económicos,

sociais e ambientais de decisões tomadas, geralmente com forte foco na vertente ambiental. Nesta lógica, pode assumir-se que o termo sustentabilidade está fortemente associado a três pilares: ambiente, economia e sociedade (Hassan e Lee, 2015; Huang *et al.*, 2015).

Através do relatório da World Commission on Environment and Development (WCED) (*cf.* WCED, 1987), o termo sustentabilidade é definido como a capacidade de criar condições que atendam às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades. Ou seja, a capacidade de sustentar a vida na qualidade atual para as gerações que se seguem. Neste sentido, para Hassan e Lee (2015: 1269), sustentabilidade é vista como *“the conception and realization of ecologically, economically and ethically sensitive and responsible expression as a part of the evolving matrix of nature”*. Também para Bonafoni (2017), a sustentabilidade é uma das questões fundamentais da atualidade, na medida em que afeta diferentes aspetos do planeamento urbano, nomeadamente: (1) consumo de terras e meio ambiente (sobrecarga); (2) energia (gradualmente empobrecida); (3) cultura (em massa); (4) paisagem (desvanecida e sobrelotada); (5) configurações urbanas e infraestruturas (congestionadas); e (6) recursos locais da natureza (desvalorizados).

As cidades que desenvolvem políticas e gerem programas de forma mais consistente e sustentável, para alcançar qualidade ambiental, equidade e eficiência energética, apresentam resultados positivos no que toca à proteção climática, transporte público, redução de resíduos, conservação de água e proteção de terras (Portney e Sansom, 2017). Desta forma, o desenvolvimento sustentável tornou-se numa estratégia global para o planeamento de profissionais, arquitetos e demais entidades envolvidas para enfrentar os efeitos do desenvolvimento humano sobre a crise ambiental (Lorr, 2012). *“In essence, sustainable development is a process of change in which the exploitation of resources, the direction of investments, the orientation of technological development, and institutional change are all in harmony and enhance both current and future potential to meet human needs and aspirations”* (WCED, 1987: 54). Continuando este raciocínio, no relatório da WCED (1987), é defendido que o desenvolvimento sustentável está dividido em dois conceitos-chave a ter em atenção, nomeadamente: (1) o conceito de necessidade, em particular das necessidades essenciais para combater a pobreza no mundo, à qual deve ser dada prioridade; e (2) a ideia de limitações, impostas pela tecnologia para atender às necessidades presentes e futuras. De acordo com Lorr (2012: 19), *“what notions of sustainable development suggest is*

*that we need to be aware not only of the ways in which social, economic, and environmental systems inter-react, but that positive relationship can be established between these fields of existence”.*

O desenvolvimento sustentável é visto como um processo dinâmico que conecta as preocupações locais e globais, bem como o relacionamento de questões sociais, económicas e ecológicas, atendendo às necessidades das gerações atuais e futuras (Hassan e Lee, 2015). Posto isto, podemos afirmar que os conceitos de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável não são processos estáticos ou finitos, sendo realmente complexos e variáveis ao longo do tempo. Segundo a definição do Brundtland Report (*cf.* WCED, 1987), o desenvolvimento sustentável é visto assim como uma “melhor qualidade de vida”. De facto, citando Yigitcanlar e Kamruzzaman (2015: 14678), *“the essence of sustainable development is the development that satisfies the human needs and improves quality of life in such a way that ecosystems should keep renewing themselves”.*

A criação das cidades sustentáveis, também conhecidas como *green cities*, surgiu devido à procura de modelos mais eficientes e habitáveis com forte foco na componente ambiental, económica e social. Estas cidades tendem a aumentar a sua capacidade de inovação com base em capital humano experiente e criativo (Zygiaris, 2012). Ou seja, a fim de atingir a sustentabilidade, os métodos e as políticas a ser desenvolvidos devem traduzir-se em processos de inovação para as cidades. Nesse sentido, segundo Thompson (*in* Voegtlin e Scherer, 2017), a inovação é entendida como a geração, aceitação e implementação de novas ideias, processos, produtos ou serviços destinados a melhorar a qualidade de vida nas cidades.

Segundo Dvir e Pasher (2004), inovação é um termo crítico, não apenas por questões empresariais, mas também de domínio civil. Os autores assumem também que este termo está fortemente relacionado ao conhecimento, resultando assim um novo termo – *knowledge innovation* – definido como: *“the creation, evolution, exchange and application of new ideas into marketable goods and services for the excellence of an enterprise, the vitality of a nation’s economy and the advancement of society as a whole”* (Dvir e Pasher, 2004: 17). Na ótica de Kourtiti *et al.* (2012: 229), *“cities have to mobilize all of their resources to remain attractive and competitive. They depend on creative and knowledge resources to maximize their innovation potential”.* Quer isto dizer que, para as zonas urbanas, o principal objetivo será a criação de conhecimento e consequente inovação. Ou seja, a inovação é alcançada com base numa gestão bem-

sucedida de um ciclo de *feedback* positivo, através da partilha e da criação de conhecimento (Sousa, 2006). Prud'homme van Reine (2013: 86) realça que “*environmental changes and other sustainability issues act as a catalyst to innovation and it is even argued that sustainability has become the key driver for innovation*”.

Face ao exposto, Dvir e Pasher (2004) defendem que, numa cidade, várias componentes podem ser consideradas motores de inovação, pois “*there is always a unique combination of intangibles factors which turn specific urban organ into an innovation engine*” (Dvir e Pasher, 2004: 21). Estes motores de inovação são vistos como um sistema que desencadeia, fomenta e catalisa a inovação na cidade, sendo, tipicamente, um processo complexo que envolve pessoas, valores, ferramentas tecnológicas, infraestruturas físicas e financeiras. Neste âmbito, a inovação deve ser um conceito tomado em conta para processos de desenvolvimento no âmbito da sustentabilidade urbana. É através da sustentabilidade urbana que são alcançados os objetivos definidos pelos administradores, arquitetos e decisores das cidades. Com efeito, ao longo do tempo, foram criadas várias definições de sustentabilidade urbana, apesar de a grande maioria serem derivações do conceito de sustentabilidade. Ainda assim, o foco está concentrado na melhoria do bem-estar dos cidadãos a longo prazo, de forma a equilibrar as três dimensões da sustentabilidade (Huang *et al.*, 2015). Ou seja, minimizar o consumo de recursos e danos ambientais, maximizar a eficiência do uso dos recursos e assegurar a equidade da democracia.

Para Zhang e Li (2018), a sustentabilidade urbana é um processo ativo de integração sinérgica e coevolução entre os subsistemas que compõem uma cidade sem comprometer as possibilidades de desenvolvimento das áreas circundantes e sempre contribuindo para a redução dos efeitos nocivos deste desenvolvimento para a biosfera. Neste sentido, Huang *et al.* (2015: 1179) definem este conceito como “*an adaptive process of facilitating and maintaining a virtual cycle between ecosystem services and human wellbeing through concerted ecological, economic, and social actions in response to changes within and beyond landscape*”. Na prática, através destes termos, surge um novo desafio para estas entidades que se relaciona com a urgência de reconciliar a vertente económica, social e ambiental no planeamento das cidades, de forma a suprir as necessidades de quaisquer áreas urbanas.

As áreas urbanas enfrentam grandes desafios no que toca ao seu crescimento, performance e competitividade, devido, em grande parte, à forte industrialização e ao aumento da população. Segundo Letaifa (2015), as Nações Unidas estimam que a

população mundial irá duplicar entre 2010 (2.6 biliões) e 2050 (5.2 biliões), algo que impulsiona a criação de novas estratégias para melhorar o desempenho e a sustentabilidade das cidades. Enquanto, em 2015, a população urbana da União Europeia era de 72% da população total, estima-se que, em 2050, esta percentagem aumentará para 80%. Embora as cidades ocupem apenas 2% da superfície do planeta, acomodam cerca de 50% da população mundial, consomem 75% da energia total gerada e são responsáveis por 80% dos gases efeito estufa. Esta situação é alarmante para o planeta, sendo fulcral o desenvolvimento de soluções que possam ajudar na sua recuperação (Eremia *et al.*, 2017; Talari *et al.*, 2017). Heidrich *et al.* (2017) reforçam esta ideia, salientando que, embora as áreas urbanas em geral sejam centros de inovação, de poder e de saúde, estas são também responsáveis por cerca de 70% das emissões globais de carbono. Quer isto dizer que a urbanização do planeta requer novos métodos e formas inovadoras para gerir a complexidade da vida urbana. Esta complexidade é motivada por fatores como: superpopulação; consumo de energia; gestão de recursos; e proteção ambiental, estando na base da necessidade das cidades ambicionarem ser “*smart*” (Eremia *et al.*, 2017).

Na opinião de Winters (2011: 268), uma possível explicação para o rápido crescimento populacional e do capital humano em zonas urbanas deve-se ao facto de os estudantes mudarem de área quando pretendem continuar a sua educação, ou seja, “*because smart cities are centers of higher education, persons move to pursue higher education are hypothesized to play an important role in the growth of smart cities*”. Por seu turno, Ahvenniemi *et al.* (2017) reafirmam que foi a urbanização, a um nível geral, com a transição dos meios rurais para meios citadinos, que motivou a necessidade de desenvolver soluções *smart*, devendo estas ser *lean*, integradas e eficientes em termos de custos e recursos, assim como ter impacto não apenas ambiental, mas também no bem-estar dos cidadãos e na sustentabilidade urbana.

Face ao exposto, uma cidade é considerada sustentável quando as suas condições de produção não destroem, ao longo do tempo, as suas condições de reprodução. Neste contexto, Ahvenniemi *et al.* (2017) sugerem que a sustentabilidade urbana é o equilíbrio entre o desenvolvimento das áreas urbanas e a proteção do meio ambiente, com o objetivo de garantir a equidade entre rendimentos, emprego, abrigo, serviços básicos, infraestruturas sociais e transporte nas áreas urbanas.

“*Cities form the heart of a dynamic society*” (Kourtit *et al.*, 2012: 229). Nesta lógica, as cidades em todo o mundo estão num estado de fluxo contínuo e exibem

dinâmicas complexas e sempre em constante mutação. À medida que estas cidades crescem, é necessário criar sistemas complexos que possam lidar com todo o abastecimento de água e alimentar, com o tratamento de resíduos e com os sistemas de tráfego urbano, sempre a pensar na qualidade e no bem-estar de todos os cidadãos e sem prejudicar o futuro do planeta (Caragliu *et al.*, 2011).

O termo *smart city* é relativamente recente, tendo surgido na década de 1990 (cf. Albino *et al.*, 2015), através do encadeamento entre desenvolvimento urbano, avanço tecnológico, inovação e globalização. Face ao exposto, a criação de *smart cities* surge assim como estratégia para mitigar os problemas emergentes da rápida urbanização e do elevado crescimento populacional urbano (Mohanty *et al.*, 2016). De acordo com Komnimos (2006), *smart city* tratava-se, numa fase inicial, de um território com alta capacidade de aprendizagem e de inovação, desenvolvido com base na criatividade dos seus cidadãos, das suas instituições de conhecimento e das suas infraestruturas digitais de comunicação e gestão do conhecimento. Já na opinião de Susanti *et al.* (2016), o conceito de *smart city* surgiu através de duas circunstâncias dinâmicas: (1) o aprimoramento do desenvolvimento tecnológico; e (2) as necessidades dos cidadãos que, hoje em dia, são mais ativos, exigentes e determinados. Por outro lado, Caragliu *et al.* (2011) realçam que este conceito já passou por inúmeras definições, sendo que a maioria aborda tópicos como o papel das tecnologias de informação e comunicação (TIC), o papel do capital humano e da educação, o capital social e relacional e o interesse ambiental como impulsionadores do crescimento urbano. Por conseguinte, vários autores (e.g. Lombardi *et al.*, 2012; Albino *et al.*, 2015; Siuryte e Davidaviciene, 2016; Ahvenniemi *et al.*, 2017) defendem que “*a city is smart when investments in human and social capital and traditional (transport) and modern [...] communication infrastructure fuel sustainable economic growth and a high quality of life, with a wise management of natural resources, through participatory governance*” (Albino *et al.*, 2015: 6).

Para uma cidade ser verdadeiramente *smart*, é importante ter em conta a necessidade de garantir que a tecnologia usada irá adicionar valor às necessidades das pessoas que nela habitam. Ou seja, é necessário fornecer serviços eficientes aos cidadãos, monitorizar e otimizar as infraestruturas já existentes e encorajar novos modelos de negócio inovadores tanto nos setores públicos como nos privados (Albino *et al.*, 2015). Neste sentido, Mohanty *et al.* (2016) abordam as seguintes componentes de uma *smart city*: (1) *smart infrastructure*, que diz respeito a tudo aquilo que for físico,

elétrico, digital e que seja considerado infraestrutura. Por exemplo, sistema de trânsito, sistema de gestão de resíduos, rede rodoviária, rede ferroviária, sistema de semáforos, sistema de fornecimento de água, sistema de fornecimento de gás, sistema de fornecimento de luz, pontes, apartamentos e moradias; (2) *smart transportation*, que se materializa através da construção de redes aéreas globais, redes ferroviárias interurbanas, ciclovias protegidas, caminhos pedestres protegidos e transporte público integrado, seguro, rápido, económico e confiável. Este sistema permite que os cidadãos selecionem facilmente as diferentes opções de transporte, tendo por base um menor custo, uma menor distância e a escolha de uma rota mais rápida; (3) *smart energy*, que consiste na integração de várias fontes de energia com uma distribuição eficiente e com um consumo otimizado; (4) *smart healthcare*, em que, com recursos limitados e uma procura cada vez maior, os cuidados de saúde tradicionais precisam de ser *smart*, eficientes e sustentáveis. Esta vertente consiste em combinar os cuidados de saúde tradicionais com dispositivos portáteis e sistema de informação, para que os dados de um paciente possam ser visualizados em tempo real e por qualquer entidade autorizada, sem perda de tempo nem de informação; e (5) *smart technology*, que se traduz numa componente fundamental no desenvolvimento, implementação e operacionalização de uma *smart city*, sendo composta por uma variedade de tecnologias como o *Wi-Fi* e o *Near Field Communication (NFC)*, entre outras.

Por seu turno, Giffinger *et al.* (2007), Lombardi *et al.* (2012) e Beretta (2018), entre outros, descrevem uma *smart city* através de seis características principais, nomeadamente: (1) *smart economy*, que inclui fatores em torno da competitividade económica, como por exemplo: inovação, empreendedorismo, marcas registadas, produtividade e flexibilidade do mercado de trabalho, bem como a integração no mercado (inter)nacional; (2) *smart people*, em que as pessoas que não são apenas descritas pelo nível de qualificação ou educação, mas também pela qualidade das interações sociais em relação à integração, à vida pública e à abertura para o mundo “externo”; (3) *smart governance*, que compreende aspetos de participação política, serviços para cidadãos e o funcionamento da administração urbana; (4) *smart mobility*, que engloba aspetos como: acessibilidade local e internacional, disponibilidade de TIC e sistemas de transporte modernos e sustentáveis; (5) *smart environment*, que é descrita por condições naturais atraentes (*e.g.* clima e espaços verdes), ausência de poluição, gestão de recursos e proteção ambiental; e (6) *smart living*, que compreende vários

aspectos da qualidade de vida, como por exemplo: cultura, saúde, segurança, habitação e turismo.

Ferrara (2016) é da opinião de que uma *smart city* é caracterizada por serviços públicos de alta qualidade, melhores níveis de vida para os cidadãos, novas oportunidades de trabalho geradas por um ecossistema empresarial mais inovador, existência de um ambiente sustentável e redução dos recursos públicos através do envolvimento das finanças. Contudo, numa cidade *smart*, segundo este autor, devem coexistir outros elementos, como por exemplo: (1) estrutura elétrica *smart* capaz de suportar os planos de conservação de energia e o uso de fontes de energia diversificadas; (2) estrutura de TIC integrada, para que se propague rapidamente e suporte a rede quando conectada a sensores, dispositivos e serviços; (3) plataforma de serviços *smart* generalizada, inovadora, reutilizável, integrada e evolutiva que permita aos cidadãos retirar o melhor proveito das infraestruturas existentes; e (4) instrumentos de finanças públicas e privadas, que possibilitem a implementação destes modelos. Desta forma, é necessário um ambiente favorável em que se possam criar ligações de compromisso com os cidadãos e outros agentes das cidades, tanto públicos como privados, de forma transparente, não-mutável e partilhada.

Posto isto, o termo *smart city* refere-se à capacidade de gerar soluções sustentáveis e *smart* para resolver problemas das áreas urbanas. Para a existência deste conceito, é fundamental um elemento motor, as TIC, que se tornam um facilitador na criação de um ambiente comunicacional mais aberto e integrado (Albino *et al.*, 2015). Como refere Anthopoulos (2017: 130), “*smart city is an innovative city that uses information and communication technologies (ICT) and others means to improve quality of life, efficiency of urban operation and services, and competitiveness, while ensuring that it meets the needs of present and future generations, with respect to economic, social and environmental aspects*”. Na opinião de Snow *et al.* (2016), uma cidade *smart* faz uso das tecnologias digitais para melhorar o desempenho e o bem-estar, reduzir custos e o consumo de recursos, assim como para melhorar o envolvimento com os seus cidadãos.

As TIC são essenciais para as *smart cities*, na medida em que: (1) permitem o uso eficiente de infraestruturas e melhoram o desenvolvimento sustentável a nível económico, social e cultural; (2) envolvem os cidadãos e a administração local através de um sistema de *e-participation*; e (3) fomentam a aprendizagem através da experiência, adaptação e inovação com o propósito de reagir de forma mais eficiente e

intuitiva em períodos de mudança (Eremia *et al.*, 2017). Zuccalà e Verga (2017: 826) referem ainda que “*smart city is a sustainable urban center where every aspect of urban life is supported by ICT and governed in an efficient way, through integrated actions addressing building stock, energy systems, mobility, climate change and water and air quality*”. É através destas tecnologias que é possível melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, diminuir as emissões de poluentes, reduzir o consumo de energia e, subsequentemente, reduzir os custos energéticos.

Uma *smart city* é, de facto, um ambiente que presta atenção às necessidades das pessoas, gere de forma racional os recursos existentes e desenvolve tanto um ambiente como uma economia sustentáveis (Girardi e Temporelli, 2017). Posto isto, parece evidente a relevância que as *smart cities* têm para o desenvolvimento urbano. Ainda assim, é necessário ponderar quais os efeitos que estas cidades podem trazer para a economia e para a sociedade. O ponto seguinte procura fazer o levantamento dos impactos económico-sociais das *smart cities*.

## **2.2. Impactos Económico-Sociais das *Smart Cities***

De acordo com Ahvenniemi *et al.* (2017: 236), “*a more holistic understanding suggests that smart cities bring together technology, government and society to enable smart economy, smart mobility, smart environment, smart people, smart living and smart governance*”. Neste sentido, a necessidade de tornar as cidades *smart* tem evoluído ao longo do tempo, na medida em que a densidade populacional tem aumentado exponencialmente e os recursos do planeta são escassos e limitados (Sujata *et al.*, 2016; Ahvenniemi *et al.*, 2017; Eremia *et al.*, 2017). Como tal, as cidades apresentam-se como motores de prosperidade económica e de desenvolvimento social.

Segundo Sujata *et al.* (2016), a economia é um dos principais impulsionadores das *smart cities*, tornando-se um indicador-chave para medir a crescente competitividade de cada cidade. O que realmente torna a cidade *smart* é a sua capacidade de inovar e capitalizar economicamente, tendo sempre em vista a maximização dos lucros que, através da utilização das TIC, facilitam o fluxo de capital (Popescu, 2015; Sujata *et al.*, 2016). A nível económico, adotar uma estratégia *smart* pode ser dispendioso, com elevado investimento inicial, dado que a cidade precisa de integrar diferentes componentes e esta aquisição pode ser onerosa para o governo

devido à escassez de recursos (Hashem *et al.*, 2016; Mohanty *et al.*, 2016). Contudo, os resultados económicos para uma *smart city* traduzem-se na criação de negócios e de emprego, no desenvolvimento da força de trabalho e na melhoria da sua produtividade (Albino *et al.*, 2015; Sujata *et al.*, 2016). Na prática, como defendem Mohanty *et al.* (2016: 68), “*a small operations cost will make it easier for cities to operate in the long run*”. Ou seja, pode ser custoso numa fase inicial mas, a longo prazo, trará benefícios para a cidade, uma vez as próprias lógicas *smart* focam na redução de custos (Hashem *et al.*, 2016). Em consonância, Popescu (2015: 78) assume que “*a smart city is a synergetic ecosystem providing the co-production of sustainable, subsequent proof of innovation that enhance existence in the city and improve the economy, in which technology has an enabling function*”.

A nível social, as cidades devem responder às necessidades dos cidadãos, através de soluções sustentáveis. Citando Kummitha e Crutzen (2017: 43), “*the intent of the smart city is to offer its citizens the highest possible quality of urban life*”. Para tal, existem diferentes fatores-chave para uma *smart city*, nomeadamente: criatividade, educação, aprendizagem e conhecimento. Com efeito, as pessoas são uma componente que não pode faltar, pois são os protagonistas de uma *smart city* e traduzem a sua infraestrutura social. Por conseguinte, o capital intelectual e social são indispensáveis para este tipo de cidade, pois permitem conectar pessoas e criar relações (Albino *et al.*, 2015). A inteligência dos cidadãos pode ser descrita como a capacidade dos mesmos aceitarem as tecnologias para sua aplicação no quotidiano, de forma a simplificar a vida urbana (Beretta, 2018).

A capacidade de comunicação propicia a criação de comunidades *smart*, onde cidadãos devem desempenhar um papel ativo, aprender, adaptar e inovar (Tranos e Gertner, 2012). As *smart cities* promovem inclusão social, dado que proporcionam a promoção de pessoas mais conscientes, educadas e informadas. Ou seja, tornam as pessoas numa comunidade aberta e com um papel ativo na sociedade, reduzindo e/ou eliminando o risco de pobreza e melhorando os níveis de educação através da redução das taxas de abandono escolar e da melhoria da proporção de pessoas com formação académica (Batagan, 2011).

De acordo com Marsal-Llacuna (2016), através da inclusão social, as cidades podem obter resultados numa perspetiva *triple-win*. Ou seja: (1) os cidadãos irão beneficiar de cidades socialmente mais sustentáveis; (2) novas oportunidades de negócios serão desenvolvidas e o empreendedorismo será promovido; e (3) os

concelhos municipais das cidades fornecerão o seu desempenho na governabilidade social de forma transparente e comparável. Face ao exposto, parece evidente a necessidade de avaliar a capacidade das cidades para serem catalogadas de “*smart*”. No próximo ponto, serão explorados alguns fundamentos de gestão para a avaliação das *smart cities*.

### **2.3. Fundamentos de Gestão para Avaliação das *Smart Cities***

*Smart city* é uma abordagem futurista para encarar os obstáculos desencadeados por uma população cada vez maior e marcada pelo incremento da densidade urbana, visando beneficiar tanto o governo como as massas. Segundo Sujata *et al.* (2016), as *smart cities* são um esforço para tornar as cidades mais eficientes, sustentáveis e habitáveis.

Os principais benefícios da utilização de políticas *smart* nas cidades são: (1) aumento da produtividade; (2) abertura para desenvolvimento de tecnologias *smart*; (3) redução de custos; (4) maior suporte em caso de desastres; (5) comunidade ativa e motivada; (6) maior participação dos cidadãos a nível social, económico e cultural; (7) fornecimento de dados coerentes, consistentes e atualizados; (8) facilidade no acesso a informação; (9) redução de tempos de espera na resolução de problemas; (10) redução de erros relacionados com a segurança e transmissão de informação; (11) desenvolvimento da força de trabalho; (12) criação de negócios; (13) aumento da taxa de emprego; e (14) uso eficiente dos recursos (Batagan, 2011; Mohanty *et al.*, 2016; Sujata *et al.*, 2016; Kourtiti *et al.*, 2017; Sta, 2017; Beretta, 2018).

Posto isto, e devido ao aumento contínuo da densidade urbana, é crucial identificar planos estratégicos para tornar as cidades *smart*, ou seja, mais eficientes, socialmente amigáveis e ambientalmente sustentáveis. Desta forma, para alcançar os objetivos definidos, é preciso mensurar, monitorizar e gerir as cidades, sendo relevante criar instrumentos de acompanhamento e de avaliação para garantir altos níveis de desempenho das mesmas. De facto, como referem Carli *et al.* (2013: 1288), “*in this emerging vision, cities are becoming smart not only in terms of automation of services, buildings, traffic systems, etc., but also in ways that enable us to monitor, understand, analyze, and consequently plan the city to improve efficiency, equity and quality of life for its citizens. This perspective puts in evidence the need for appropriate methods and*

*techniques for urban assessment that seek to figure out how much and how well cities progress towards goals and objectives of smartness*". Portanto, na construção de *smart cities*, parece evidente a necessidade de um instrumento de avaliação que permita medir o desempenho de cada cidade, de modo a que seja possível realizar ações que melhorem as suas características e fortaleçam o seu grau de sustentabilidade.

Face ao exposto, Chowdhury e Dhawan (2016: 337) defendem que “[Key Performance Indicators] *KPIs can be used by different governing branches of the city administration as well as the important stakeholders of the smart cities such as city officials and municipal administrations, citizens, [Non-Governmental Organizations] NGOs and different non-profit organizations, service providers and maintenance organizations*”. Carli *et al.* (2013: 1288) reforçam esta ideia, referindo que “*indicators help, from one side, to enable leaders, managers, and policymakers to make intelligent decisions about where to focus time and resources and, on the other side, to better communicate city performance to citizens, visitors, and potential investors*”. No ponto seguinte, serão analisados alguns estudos desenvolvidos no âmbito da avaliação das *smart cities*, com o intuito de identificar os seus principais contributos e limitações, bem como de encontrar “espaço” para o modelo a propor nesta dissertação.

#### **2.4. Estudos Relacionados: Contributos e Limitações**

Parece evidente que, com o passar do tempo, a necessidade de criar um instrumento de avaliação de *smart cities* se revelou mais visível, uma vez que o papel das soluções *smart* tornou-se fundamental no quotidiano dos cidadãos. A este respeito, Lombardi *et al.* (2012: 144) notam que “*a city is a complex system. As complex systems, cities have unpredictable behaviors and, when some actions are set up, reactions and feedback can be obtained*”. Reforçando esta lógica, Carli *et al.* (2013: 1288) reconhecem que, “*due to the continuous increase of the world population living in cities, it is crucial to identify strategic plans and perform associated actions to make cities smarter, more operationally efficient, socially friendly, and environmentally sustainable, in a cost-efficient manner. To achieve the goals, emerging smart cities need to be optimally and intelligently measured, monitored, and managed*”.

Percebendo a importância desta temática, numa fase inicial, Lombardi *et al.* (2011) exploraram a conexão das componentes do *Triple Helix Model* com as

dimensões do ambiente urbano (*i.e.* desenvolvimento económico, capital humano, cultura e lazer, ambiente e *e-governance*) para o desenvolvimento de cidades *smart*, de forma a explorar como estas cidades podem usar estes atributos no suporte à aprendizagem social, empresarial, de mercado e na transferência de conhecimento. Com efeito, decidiram acrescentar novos elementos ao modelo *Triple Helix*, explorando assim um modelo avançado com a adição das influências do mercado, do conhecimento e da aprendizagem. Os resultados deste estudo enfatizaram a importância de analisar as várias dimensões do ambiente urbano para avaliação da performance de uma cidade. Posto isto, uma das direções de investigação futura seria a estruturação de um modelo para apoio à decisão, o qual foi concretizado, em 2012, pelos mesmos autores. Ou seja, Lombardi *et al.* (2012) criaram um modelo que permite avaliar a componente *smart* das cidades com recurso ao *Triple Helix Model*, que constitui uma estrutura de referência para a análise de sistemas de inovação baseada no conhecimento e que relaciona as três principais agências de criação de conhecimento (*i.e.* universidades, indústria e governo). Em concreto, os autores adicionaram um novo agente de criação de conhecimento (*i.e.* a sociedade civil), determinando assim um modelo de quatro hélices. Para cada um dos quatro agentes da inovação, Lombardi *et al.* (2012) propuseram indicadores de uma *smart city*, de acordo com cinco *clusters* identificados no ponto 2.1 (*i.e.* *smart economy*; *smart environment*; *smart people*; *smart living*; e *smart governance*).

Zygiaris (2012) desenvolveu um sistema de avaliação identificando 7 camadas de uma *smart city*: (1) *city layer*, dando ênfase que as noções de *smart city* devem ser fundamentadas no contexto de uma cidade; (2) *green city layer*, inspirada nas novas teorias de urbanização da sustentabilidade ambiental; (3) *interconnection layer*, correspondente à difusão em toda a cidade das *green economies*; (4) *instrumentation layer*, enfatizando que cidades inteligentes exigem respostas do sistema em tempo real, feitas por medidores *smart* e sensores das infraestruturas; (5) *open integration layer*, destacando que as aplicações das *smart cities* devem comunicar entre si e partilhar dados, conteúdo, serviços e informações; (6) *application layer*, útil nas *smart cities* para espelhar as operações da cidade em tempo real em novos níveis de operação recetiva; e (7) *innovation layer*, enfatizando que as *smart cities* criam um ambiente de inovação fértil para novas oportunidades de negócios.

Carli *et al.* (2013) propuseram uma estrutura para analisar e comparar sistemas de medição para *smart cities*. O estudo sugere dividir os indicadores de avaliação em duas categorias (*i.e.* objetiva e subjetiva), considerando tanto as infraestruturas físicas

como os dados do contexto, juntamente com a satisfação dos cidadãos e a sua percepção de bem-estar. Estes autores também se concentraram na forma como os indicadores são medidos e revelaram que, juntamente com as ferramentas tradicionais, novos indicadores de bem-estar são cada vez mais necessários, através da recolha de dados em tempo real (e.g. comentários, avaliações e recomendações nas redes sociais).

O estudo desenvolvido por Kourtiti *et al.* (2012) oferece uma análise comparativa de nove *smart cities* numa perspetiva multidimensional, procurando fornecer um quadro analítico operacional para caracterizar e identificar as cidades na Europa que tenham um alto potencial de componentes identificadas como *smart*, com base numa extensa base de dados pertencente à Auditoria Urbana Europeia. Nesta análise, a metodologia utilizada foi a *Self-Organizing Maps* (SOM), que, através de dados multidimensionais, permitiu comprimir as informações contidas e apresentá-las de forma compreensível e de fácil visualização. Todavia, este método pode ser impreciso em certas situações da análise de variáveis individuais, uma vez que procura um padrão global onde todas as variáveis funcionam da melhor forma. Nesta lógica, a SOM leva à recusa de soluções potencialmente viáveis.

Lazaroiu e Roscia (2012) propuseram um índice *smart city*, segundo o qual indicadores não homogêneos podem ser agregados. O problema da disponibilidade de informação e a dificuldade em atribuir pesos para agregar os indicadores considerados estão, porém, entre as limitações deste estudo.

Caragliu e Bo (2012), na exploração da sua *framework*, tinham como principal objetivo colocar o conceito de *smart city* na vanguarda da análise do desempenho urbano, tendo considerado os impactos das características *smart* na análise do impacto local da sua amostra de 94 cidades em 14 países da União Europeia. Por um lado, operacionalizaram o conceito de *smart city* e, por outro, apresentaram explicitamente o impacto local dessas variáveis *smart* nas cidades em análise (*i.e.* indicadores de *smartness*, capital humano, densidade, indústria, facilidades e atratividade). Como principal resultado, foi possível afirmar que “*cities that are smarter tend also to outperform those with lower scores in the same indicator, and similar more traditional characteristics (human capital, density, industrial mix, amenities and attractiveness)*” (Caragliu e Bo, 2012: 108).

Dos estudos abordados, dois deles têm por base o modelo ISO 37120 Standard apresentado pela International Organization for Standardization. O ISO 37120 fornece um conjunto de indicadores para medir os serviços das cidades e a qualidade de vida.

Este modelo satisfaz a necessidade de indicadores para medir o desempenho das cidades em termos de desenvolvimento sustentável e resiliência. Além disso, permite preencher a lacuna gerada por outros conjuntos de indicadores existentes que não são padronizados ou comparáveis ao longo do tempo ou entre cidades. O ISO 37120, por sua vez, fornece uma metodologia abrangente que permite que cidades de todas as dimensões sejam avaliadas em termos de desempenho económico, ambiental e social em relação a outras cidades. Os seus indicadores são estruturados em torno de vários temas, de acordo com os diferentes setores e serviços prestados por uma cidade, nomeadamente: economia; educação; energia; meio ambiente; finanças; incêndio e resposta de emergência; governo; saúde; recreação; segurança; abrigo; resíduos sólidos; telecomunicações e inovação; transporte; planeamento urbano; água; saneamento; e relatórios e manutenção de registos. Foi através deste conjunto de indicadores que Hajduk (2016) e Dall’O *et al.* (2017) desenvolveram os seus estudos sobre avaliação das *smart cities*. Na *Tabela 1* é apresentada uma síntese de alguns estudos feitos, com o propósito de fazer um levantamento dos seus contributos e limitações no âmbito da avaliação de *smart cities*.

Autor	Método	Contributos	Principais Limitações
Giffinger <i>et al.</i> (2007)	Construção de um <i>ranking</i> através de métodos quantitativos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possibilidade de comparação de características e identificação de pontos fortes e fracos das cidades;</li> <li>▪ A transparência dos dados do <i>ranking</i> permite uma aplicação mais fácil a outras cidades através de vários pontos de vista.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo apenas adaptado a cidades de dimensão média;</li> <li>▪ Os indicadores apresentam o mesmo peso.</li> </ul>
Lombardi <i>et al.</i> (2011)	<i>Principal Component Analysis</i> (PCA).	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permite identificar quais as componentes que uma cidade <i>smart</i> deve considerar para ser geradora de capital intelectual e aprendizagem social.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estudo peca por não esclarecer qual o processo a percorrer para que uma cidade atinja a sua <i>smartness</i>.</li> </ul>
Caragliu e Bo (2012)	Análise econométrica com recurso a estimativas autorregressivas espaciais.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operacionaliza o conceito de <i>smart city</i> e possibilita a análise do desempenho urbano e a elaboração de políticas públicas;</li> <li>▪ Facilidade de aplicação da <i>framework</i> a outros contextos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perda de variáveis que, por falta de informação, foram excluídas mesmo sendo potencialmente relevantes para a análise, algo que afetou os resultados obtidos;</li> <li>▪ Foco no desempenho urbano e não nas componentes de uma <i>smart city</i>.</li> </ul>
Lombardi <i>et al.</i> (2012)	<i>Analytic Network Process</i> (ANP) aplicado ao modelo <i>Triple Helix</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permite identificar interações e <i>feedbacks</i> dentro e entre <i>clusters</i>, priorizando os indicadores de <i>performance</i>;</li> <li>▪ Fácil aplicação do método criado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ O modelo não considera características relacionadas à sustentabilidade ecológica na avaliação das <i>smart cities</i>.</li> </ul>
Kourtiti <i>et al.</i> (2012)	Métodos <i>Self-Organizing Maps</i> (SOM) e PCA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possibilidade de análise conjunta das <i>smart cities</i> entre si e em diferentes períodos de tempo;</li> <li>▪ Com a utilização da metodologia SOM, a visualização é feita de forma intuitiva e possibilita a extração de padrões ao longo do tempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ SOM pode ser impreciso em certos casos, pois procura por um padrão global onde as variáveis funcionam melhor no seu todo;</li> <li>▪ Análise comparativa utiliza amostra reduzida de cidades europeias <i>smart</i>, algo que pode limitar a sua aplicabilidade/adaptação futura.</li> </ul>

Zygiaris (2012)	<i>Smart City Reference Model</i> com base em dados secundários.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permite avaliar a capacidade das cidades em identificar inconsistências no planeamento estratégico das mesmas;</li> <li>▪ Sincroniza e otimiza os investimentos da cidade em economias <i>green</i> e fornece informação relevante para <i>stakeholders</i> quanto às prioridades de investimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fraca adaptação do modelo quanto a <i>inputs</i>, <i>outputs</i> e processos no contexto local de <i>smart cities</i>;</li> <li>▪ Ausência de critérios igualmente importantes na análise de <i>smart cities</i> (foco na sustentabilidade).</li> </ul>
Lazaroiu e Roscia (2012)	<i>Fuzzy logic method</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Facilita o processo de elaboração de políticas com participação tanto dos <i>stakeholders</i> como dos cidadãos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dependência dos legisladores de políticas <i>smarts</i> na seleção de dados para análise.</li> </ul>
Carli <i>et al.</i> (2013)	Recolha de dados primários a partir de <i>data mining</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coloca a perspetiva humana e o conteúdo tecnológico no cerne do processo de classificação e seleção dos indicadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo desenvolvido apenas para a fase de desenvolvimento da <i>smart city</i> e de modo complementar a outras ferramentas de análise.</li> </ul>
Hajduk (2016)	ISO 37120 <i>Standard</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Facilita a partilha de aprendizagem entre cidades, algo que permite a comparação entre medidas de desempenho e futura partilha de <i>best practices</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fraca monitorização no planeamento da cobertura em diferentes unidades territoriais.</li> </ul>
Siuryte e Davidaviciene (2016)	<i>Focus group</i> e <i>Case study</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Impulsiona a integração dos cidadãos no desenvolvimento das <i>smart cities</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análise pouco profunda dado o fraco uso dos métodos aplicados;</li> <li>▪ Demasiado foco em apenas numa componente: os cidadãos.</li> </ul>
Dall’O <i>et al.</i> (2017)	ISO 37120 <i>Standard</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permite à cidade identificar prioridades para ações futuras em contextos específicos;</li> <li>▪ Maior incidência no pensamento ambiental e crítico na elaboração de políticas <i>smart</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necessidade do modelo ser constantemente atualizado, dado o avanço tecnológico bem como o desenvolvimento das políticas urbanas;</li> <li>▪ Modelo apenas adaptado a cidades de dimensão pequena e média.</li> </ul>

**Tabela 1: Métodos de Avaliação *Smart City*: Contribuições e Limitações**

Através da análise da *Tabela 1*, depreende-se que cada autor utiliza processos diferentes para avaliar a performance das *smart cities*. Enquanto uns dão maior ênfase a determinados indicadores de áreas mais específicas, outros entendem que a análise requer tanto indicadores objetivos como subjetivos, assumindo uma lógica de múltiplos fatores. De qualquer forma, é necessário estar consciente que os estudos desenvolvidos têm o propósito de definir qual a melhor forma de avaliar as *smart cities* e identificar quais os fatores relevantes para o desenvolvimento destas cidades, com ênfase na importância da monitorização para a competitividade destas cidades no mercado, uma vez que, através da mensuração, estas sabem em que posição se encontram e quais os planos de ação para melhorar. Importa ter presente, no entanto, que nenhum dos contributos estudados está isento de limitações e, nessa perspetiva, o surgimento de novos métodos tem vindo a revelar-se importante para uma avaliação tendencialmente mais diversificada e eficaz das *smart cities*. No ponto seguinte, são apresentadas as limitações metodológicas gerais dos estudos considerados, no sentido de encontrar “espaço” para a abordagem metodológica a seguir nesta dissertação.

## **2.5. Limitações Metodológicas Gerais**

As questões relacionadas com a avaliação das *smart cities*, embora recentes, têm sido cada vez mais exploradas por diferentes autores. Diferentes métodos e índices de medição foram desenvolvidos até ao momento, em função dos diferentes planos associados ao conceito de *smart city*. Com efeito, os sistemas de avaliação, através de indicadores, estão a receber cada vez mais interesse por parte dos gestores de cidades e decisores políticos, dado que lhes permite gerir o tempo e os recursos das cidades, bem como comunicar o próprio desempenho dessas mesmas cidades aos cidadãos, visitantes e demais *stakeholders*. De facto, como referem Albino *et al.* (2015: 13), “*one of the values of these systems is the capacity to represent a metric of comparison, which overcomes self-proclamations of being a smart city*”.

Carli *et al.* (2013) afirmam que, embora a criação de um instrumento de avaliação *smart city* seja um processo complexo, é crucial poder ter um sistema que consiga orientar as cidades na realização dos seus objetivos estratégicos. Todavia, os autores salientam que “*there does not exist, in fact, a set of indicators for measuring the performance of a city that is valid in each context and for each purpose. Moreover, the*

*complexity of measuring the smartness of a city is exacerbated by the need of policy makers to measure the well-being of the citizens rather than the productivity of the public services*” (Carli *et al.*, 2013: 1289). Neste contexto, Albino *et al.* (2015) admitem também que um sistema de avaliação fixo e universal pode ser difícil de definir com a variedade de características das *smart city*. Com efeito, na avaliação da *smartness* urbana deve ter-se em consideração que as cidades têm visões e prioridades diferentes para alcançar os seus objetivos, mas devem promover um desenvolvimento integrado de diferentes aspetos.

Noutros estudos (*e.g.* Lazaroiu e Roscia, 2012), é abordada a questão de transformação e agregação de variáveis e indicadores num índice mais abrangente. Porém, esse processo levou a uma perda de informações sobre a cidade e, como tal, ocorre perda de conhecimento sobre o complexo conceito de *smart city*. Nesse sentido, outra das preocupações prende-se com a (não) atribuição de pesos aos indicadores (Giffinger *et al.*, 2007), tornando difícil a tarefa de encontrar medidas eficazes para analisar as variáveis do contexto em análise.

Em modo de conclusão, podemos verificar que existem três categorias de limitações gerais que devem ser levadas em conta, nomeadamente: (1) falta de universalidade, onde os estudos desenvolvidos pecam por cingirem-se a uma cidade específica ou de pequena a média dimensão; (2) forma pouco clara de como são definidos os critérios de avaliação; (3) ausência de (ou dificuldades no) cálculo de ponderadores (*i.e. trade-offs*) desses mesmos critérios. Para colmatar algumas destas limitações principais, a presente dissertação recorrerá ao uso integrado de mapas cognitivos e do Integral de Choquet. Posto isto, no próximo capítulo serão exploradas as abordagens de apoio à decisão multicritério a utilizar no âmbito da presente dissertação, nomeadamente: MCDA, métodos de estruturação de problemas complexos e técnicas de mapeamento cognitivo.

## ***SINOPSE DO CAPÍTULO 2***

Este segundo capítulo da dissertação visou analisar a importância do desenvolvimento e da aplicação de metodologias que sejam capazes de servir como instrumento de avaliação de *smart cities*. Procurou-se, também, analisar as metodologias já existentes, bem como os contributos e limitações de cada uma. No fim, procedeu-se à identificação de um conjunto de limitações que são comuns à maioria dos métodos analisados. Através do atual crescimento dos processos de urbanização, tornou-se muito importante poder mensurar os esforços feitos pelas *smart cities*, com o intuito de, futuramente, ser possível identificar os seus pontos fortes e fracos e, dessa forma, melhorar a sua posição em termos de sustentabilidade. Isto não só é importante para a posição competitiva das cidades, como também para a possibilidade de, entre si, poderem ser comparadas e, posteriormente, ser possível a criação de *best practices*. O contínuo crescimento populacional nas áreas urbanas, o crescente impacto ambiental com recursos limitados, o facto de o planeamento urbano ser cada vez mais minucioso e mais exigente, levando à necessidade de suprir as necessidades das cidades e, ainda, a preocupação constante pelo desenvolvimento sustentável, sem nunca prejudicar o planeta, são outros dos argumentos indicados pelos autores para a avaliação das *smart cities*. Posto isto, é crucial desenvolver planos estratégicos para tornar as cidades *smart*, mais eficientes, socialmente amigáveis e ambientalmente sustentáveis. Nesse sentido, apesar da temática ser muito atual, já existem metodologias testadas em diferentes cenários, sendo que os principais objetivos consistiram em avaliar a performance das *smart cities* e quais os indicadores mais pertinentes para tal avaliação. Depois de analisar os estudos já realizados na área, foram encontradas limitações na maior parte deles, nomeadamente: (1) falta de universalidade, onde os estudos desenvolvidos pecam por cingirem-se a uma cidade específica ou de pequena a média dimensão; (2) forma pouco clara de como são definidos os critérios de avaliação; e (3) ausência de (ou dificuldades no) cálculo de ponderadores (*i.e. trade-offs*) desses mesmos critérios. Assim sendo, parece relevante que sejam desenvolvidas novas abordagens que possam ser exploradas e aplicadas em mais e novas cidades. Desta forma, com o presente capítulo, foi feito o enquadramento de base para o desenvolvimento de um novo sistema de avaliação de *smart cities*. No próximo capítulo serão expostos os fundamentos da abordagem multicritério de apoio à tomada de decisão, onde serão identificados os seus potenciais contributos que motivam a construção de um índice multicritério para a avaliação das *smart cities*.

Perante a análise efetuada no capítulo anterior, verificou-se que existe um conjunto de modelos de avaliação de *smart cities* que apresentam limitações metodológicas gerais. Por conseguinte, o surgimento de novas abordagens que procurem contornar estas lacunas parece pertinente. Neste terceiro capítulo, será efetuado um enquadramento geral da abordagem multicritério de apoio à tomada de decisão. Tal enquadramento tem como objetivo dar a entender as bases metodológicas que sustentam a construção do índice a apresentar no âmbito da presente dissertação. Os tópicos aqui tratados são então os seguintes: (1) o apoio à decisão multicritério; (2) a estruturação de problemas de decisão; e (3) a avaliação multicritério.

#### **3.1. O Apoio à Decisão Multicritério**

Dado que somos constantemente confrontados com problemas de decisão no nosso quotidiano, surgiu a necessidade de serem desenvolvidos mecanismos de suporte à tomada de decisão. Importa ter presente, no entanto, que os problemas variam de acordo com cada indivíduo, ou seja, a complexidade de cada problema depende de como o problema é formulado, das circunstâncias onde este se insere e de quem o percebe (Ferreira *et al.*, 2011).

Com o intuito de dar resposta à necessidade de um processo de apoio à decisão surgiu, em 1935, o conceito de Investigação Operacional (ou *Operational Research* (OR)), num comité para investigação científica de defesa militar (Bouyssou, 2005). De acordo com Ferreira *et al.* (2011: 115), “*the traditional OR emerged with the objective of bringing a higher degree of rationality to the decision support process*”. Deste modo, durante os anos 1960, a OR foi dominada pelo paradigma da procura do ótimo matemático e, conseqüentemente, pelo desenvolvimento de novos métodos e abordagens que descartavam todas as soluções vistas como não-ótimas, sendo um período fortemente marcado pela análise monocritério (Ferreira *et al.*, 2011).

De acordo com Ferreira *et al.* (2011), a abordagem tradicional da OR resumia-se em três características: (1) presença de um conjunto claro de alternativas viáveis; (2) uma função de valor  $f$  capaz de refletir com precisão as preferências do decisor na tomada de decisão; e (3) um problema matemático bem formulado. Neste sentido, os métodos associados a esta corrente mais tradicional ficaram conhecidos como métodos *hard* da OR. Em conformidade, Bana e Costa (1993b) afirma que, na evolução natural da abordagem tradicional, surgiram críticas à busca pelo ótimo matemático, dado o seu carácter reducionista. Com efeito, segundo o autor, “*o crer que em qualquer problema de decisão existe pelo menos uma solução que, com meios e tempo suficientes, possa ser objetivamente demonstrada como sendo a decisão óptima, faz correr o risco [...] de construir modelos inadequados às situações problemáticas reais que os decisores enfrentam*” (Bana e Costa, 1993b: 4). Turban (1995: 45) parece reforçar esta ideia, defendendo que, uma vez que a realidade é muito complexa para copiar e como grande parte da complexidade é irrelevante para o problema em específico, a otimização não pode ser utilizada. Nestas críticas, é realçado o facto de, ao formular um problema na busca da solução ótima, o decisor peca por pensar num único objetivo ou, então, em múltiplos objetivos reduzidos a um único, com base numa escala de compensação.

Em oposição à abordagem monocritério, surge a abordagem multicritério, apesar de, nesta altura, ainda vinculada ao paradigma *hard* (otimização). Mais tarde, Belton e Stewart (2002: 1) acrescentam que “*every decision we ever take requires the balancing of multiple factors [...] sometimes explicit, sometimes without conscious thought*” e, neste sentido, surge uma nova abordagem (*i.e.* a *soft* OR), desenvolvida de forma a suprir algumas das limitações apresentadas pela abordagem *hard*. Apesar desta nova abordagem assumir um papel complementar, Ferreira *et al.* (2011: 116) alertam para o facto de, “*despite the complementary logic (and not mutual exclusion), this new current of thought stressed the limited applicability of the most traditional methods*”. Deste processo evolutivo, emergiram dois ramos da OR: (1) *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM); e (2) *Multiple Criteria Decision Analysis* (ou *Aid*) (MCDA). Na Tabela 2 estão apresentadas algumas das características destes dois ramos.

Caraterísticas das Abordagens	
MCDM	MCDA
Considera múltiplos objetivos, mas está fortemente ligada à otimização.	Reconhece os limites da objetividade e foca-se na integração de aspetos objetivos e subjetivos.
Requer algo pré-existente para alcançar a melhor solução.	Tem como objetivo a construção de algo não pré-existente e que resulte do trabalho em equipa com os decisores.
Requer a análise de um axioma particular para validar uma solução através de processos padronizados pré-concebidos.	Compreende um axioma particular por forma a conhecer o seu significado e o seu papel no desenvolvimento de recomendações.
Revela poucas preocupações em garantir a compreensão, por parte do decisor, da solução final do problema.	Ajuda a compreender o comportamento dos decisores, fortalecendo ou enfraquecendo as suas próprias convicções.

Fonte: Ferreira et al. (2011: 116, adap.).

**Tabela 2: Comparação de Abordagens MCDM e MCDA**

Numa fase inicial, a ideia da construção de modelos de suporte à decisão com base em múltiplos critérios teve os seus descrentes. Todavia, com o passar dos anos, a sua adoção foi ganhando poder, surgindo assim metodologias mais especializadas e pormenorizadas (Ferreira et al., 2011).

Como podemos analisar na *Tabela 2*, estas duas abordagens (*i.e.* MCDM e MCDA) apresentam diferenças entre si. Por um lado, a MCDM preocupa-se com técnicas clássicas de otimização sendo que, para modelar um problema, são considerados diferentes critérios (dimensões) agrupados num único critério sem nunca fugir da procura do ótimo matemático. Para Ferreira et al. (2011: 117), “*this approach is still characterized by a deterministic nature, since it has its scope restricted to the comparative study of the relationship between alternatives for defining optimal solutions*”. Por sua vez, a MCDA reconhece os limites da objetividade na resolução de problemas de decisão e admite que a subjetividade está presente em todas as situações. Esta abordagem, nos processos de tomada de decisão, privilegia os julgamentos e as preferências do decisor, de forma a auxiliá-lo, tendo sempre em conta o seu próprio sistema de valores (Belton e Stewart, 2002). Neste sentido, Ferreira et al. (2011: 118) defendem que “*the MCDA approach follows a constructivist approach and recognizes, among other things, the limits of mathematical optimum*”. No ponto seguinte, a abordagem MCDA é tratada com maior detalhe.

### 3.1.1 A Abordagem MCDA

A abordagem MCDA emerge como uma evolução da OR, através de um novo espírito: o reconhecimento dos limites da objetividade no tratamento de problemas complexos. Face a este reconhecimento, esta metodologia enfatiza uma mudança de atitude, pois, como referem Ensslin *et al.* (2000: 80), “*MCDA emphasizes the idea of problem construction, that is, it focuses on the modeling of the decisional context from the consideration of the beliefs and values of the actors involved in the decision making process*”.

De acordo com Belton e Stewart (2002: 3), “*subjectivity is inherent in all decision making [...] MCDA does not dispel that subjectivity; it simply seeks to make the need for subjective judgments explicit and the process by which they are taken into account transparent*”. Isto é, através do reconhecimento dos limites da objetividade neste tipo de problemas, um dos principais objetivos desta abordagem passa pela construção ou criação de algo que não pré-exista e auxilia os participantes de um processo de tomada de decisão a modelar as suas preferências e/ou tomar decisões com base nos seus valores (Ferreira *et al.*, 2011). Face à abordagem tradicional, esta nova atitude passa pela tentativa de ultrapassar os princípios que sustentam que, para cada problema, existe um modelo pré-determinado. A abordagem MCDA visa auxiliar os decisores a organizar e sintetizar a informação disponível, através da constatação de que “*the concept of decision support is more extensive; it not only guide decision makers to make decisions but also helps them to organize and interpret data as well as understand the problem*” (Wang *et al.*, 2017: 346).

O processo de decisão é uma atividade que interpreta a ação como uma escolha racional onde assenta no princípio de que este processo é baseado nas *consequências das ações* ou nas *preferências dos atores* (Mackenzie *et al.*, 2006). Por um lado, é baseado nas *consequências das ações*, uma vez que as alternativas são interpretadas em termos de consequências esperadas e cada ação depende também da antecipação dos efeitos futuros das ações correntes. Por outro lado, é baseado nas *preferências dos atores*, visto que as consequências são avaliadas de acordo com as preferências pessoais do decisor.

Para Bana e Costa (1993b: 1), “*um processo de apoio à decisão é um sistema aberto de que são componentes os actores e os seus valores e objetivos, e as suas ações e características*”. Roy (1996: 32) é da opinião que “*an individual or a group of*

*individuals is an actor in a decision process if she directly influences the decision by her value system*". Ou seja, um indivíduo ou um grupo de indivíduos é considerado um ator no processo de tomada de decisão sempre que influenciar diretamente a decisão de acordo com o seu sistema de valores. A *Tabela 3* proporciona a identificação e caracterização dos tipos de atores que, normalmente, existem num processo de tomada de decisão.

TIPOS DE ATOR	Posição face ao Processo de Decisão	Relação com a Decisão
AGIDOS	Caracterizam-se por não possuir voz ativa no processo de apoio à decisão, apesar de poderem influenciá-la indiretamente. <i>E.g.</i> : moradores de determinada rua, estudantes de uma universidade ou funcionário de uma empresa.	Todos aqueles que sofrem as consequências da decisão de uma forma passiva.
INTERVENIENTES	Tratam-se daqueles atores que, efetivamente, têm um lugar na mesa de negociações.	São todos os indivíduos, corpos constituídos ou coletividades que, por sua intervenção direta e em função do seu sistema de valores, condicionam a decisão.
DECISORES	Definem-se como sendo aqueles a quem o processo de decisão se destina. São igualmente atores intervenientes.	Têm o poder e a responsabilidade de ratificar a decisão, assumindo as consequências da mesma.
FACILITADOR (L'HOMME D'ÉTUDE)	Trata-se de um especialista externo que é considerado um interveniente no processo. A sua atividade deverá ser pautada pela clareza, transparência e honestidade intelectual.	O seu papel é importante no processo de decisão, na medida em que contribui para melhorar a comunicação e a procura de uma solução de compromisso entre os atores.
"DEMANDEUR"	Surge, pontualmente, como um intermediário no relacionamento direto entre o decisor e o facilitador.	Este ator existe, por exemplo, quando o decisor é um ministro de Estado. Dado o seu difícil acesso, um assessor direto do ministro pode atuar como intermediário no processo de apoio à decisão.

Fonte: Ferreira (2011: 83).

**Tabela 3: Classificação e Caracterização dos Atores**

Num processo de apoio à tomada de decisão, cada ator desempenha um papel diferente e atua em função do seu sistema de valores e da sua posição em relação ao processo de decisão. Os decisores (ou *stakeholders* com poder de decisão) estão ativamente ligados ao processo de decisão e podem/devem ajudar a explorar o problema através das suas preferências e valores, tanto individualmente como em grupo, revelando o poder de validar a decisão (Belton e Hodgkin, 1999). Estes decisores, por

seu turno, podem recorrer a um participante externo: o facilitador. O facilitador é aquele cujo papel passa por esclarecer e auxiliar todo o processo de avaliação e/ou negociação perante a tomada de decisão (Bana e Costa, 1993b). De acordo com Belton e Hodgkin (1999: 249), “*the facilitator or analyst is someone who has been engaged by the decision maker(s) on the basis of their expertise*”. Já os agidos caracterizam-se como os atores que, de forma passiva, se submetem apenas às consequências das decisões tomadas.

No âmbito do apoio à tomada de decisão segundo a abordagem MCDA, os participantes devem conceber modelos mentais explícitos de modo a definir as prioridades e os valores que influenciam a sua tomada de decisão, algo que proporcionará um meio propício para o consenso, apropriação e compromisso entre os intervenientes sobre o assunto debatido (Santos, 2002). Com efeito, “*by using MCDA procedure the members of the working group can easily see (and justify to others) how their beliefs and preferences turn into a single or few indicators of overall performance*” (Santos, 2002: 1268). Nesta perspetiva, a abordagem MCDA beneficia os decisores ao fornecer uma *framework* consistente para a tomada de decisão, encorajando a inclusão dos vários *stakeholders* com diferentes perspetivas, apresentando a informação de uma forma clara e concisa e permitindo a comparação e o cálculo de *trade-offs* entre alternativas. Posto isto, torna-se pertinente abordar as diferentes etapas de um processo de apoio à decisão que, segundo Ensslin *et al.* (2000) e Belton e Stewart (2002), são três: *estruturação, avaliação e recomendação*.

Para Bana e Costa (1993b), a *estruturação* é a fase fundamental no processo de apoio à decisão, apresentando um carácter misto entre arte e ciência. Esta fase é vista como essencial na abordagem de MCDA dado que “*it provides to the actors involved [...] a common language for debate and learning and with clear information about the plausible impacts of potential actions on the different points of view, thus serving to make explicit the actors’ value systems*” (Bana e Costa *et al.*, 1997: 34). Ou seja, esta fase visa a construção de um modelo que possa servir de base à aprendizagem, à investigação, à comunicação e à discussão interativa com e entre os intervenientes no processo. Todavia, esta fase é passível de ajustamentos (“*reestruturação*”), ditados por uma progressiva aquisição de informação e por um melhor conhecimento do problema em análise (Bana e Costa, 1993b). Após a fase de *estruturação*, surge a fase de *avaliação*, decomposta em três atividades distintas. A primeira passa pela construção de um modelo de preferências locais que possibilita a avaliação parcial das alternativas. Já

a segunda visa a determinação das taxas de substituição. Na terceira atividade são determinados os impactos das ações com base em cada critério. Por último, e conforme Bana e Costa *et al.* (1997), surge a fase de *recomendações*. Esta fase depende tanto do facilitador como dos atores envolvidos e do problema a ser investigado e visa a formulação de recomendações. No próximo ponto, serão abordados os paradigmas e as convicções epistemológicas associados à análise multicritério de apoio à decisão.

### 3.1.2 Paradigmas e Convicções Epistemológicas

Como abordado no tópico anterior, a OR está assente em dois grandes paradigmas – *hard* e *soft* – sendo que a abordagem *soft* se destaca na medida em que utiliza múltiplos critérios no processo da tomada de decisão e reconhece a importância da subjetividade na resolução de problemas complexos. Ensslin *et al.* (2000: 80) fundamentam que “*the strength of MCDA is made evident in complex situations, [...] situations which involve not only a single criterion, but also multiple and conflicting ones. [...] In such complex situations, MCDA emerges as an evolution in OR, being informed by a new spirit: the recognition of the limits of objectivity*”. Também como já abordado, as principais características deste paradigma (*soft*) são: (1) não-otimização; (2) necessidade reduzida de dados; (3) simplicidade e transparência; (4) inclusão do fator humano; (5) planeamento *bottom-up*; e (6) aceitação de incertezas. Em conformidade, segundo Ferreira *et al.* (2011: 116), “*this new approach adopts a type of “alternative paradigm”, characterized by non-optimal situations, reduced need for data, simplicity and transparency, people as active elements of the decision process, and, conditions that provide bottom-up planning, and acceptance of uncertainty*”.

Uma vez exploradas as características deste novo paradigma, é relevante abordar as convicções epistemológicas da abordagem MCDA. Bana e Costa (1993a e 1993b), Ensslin *et al.* (2000) e Belton e Stewart (2002) defendem que existem três convicções fundamentais, nomeadamente: (1) interpenetração de elementos objetivos e subjetivos e respetiva inseparabilidade; (2) aprendizagem pela participação; e (3) construtivismo.

Quanto à primeira convicção, um processo de decisão é um sistema entre elementos de natureza objetiva próprios às ações e elementos de natureza subjetiva próprios aos sistemas de valores dos intervenientes. Se, por um lado, a busca da objetividade é uma preocupação; por outro lado, é também crucial não esquecer que a tomada de decisão é antes de tudo uma atividade humana, sustentada pela noção de

valor, tornando a subjetividade omnipresente em todo o processo (Bana e Costa, 1993a). Por outras palavras, a subjetividade deve ser aceite e considerada omnipresente na tomada de decisões (Bana e Costa, 1993a: 5), sendo importante perceber que um sistema de relações entre elementos de natureza objetiva e subjetiva deve ser considerado como difícil de ser separado por partes.

Já na segunda convicção (*i.e.* aprendizagem pela participação), Bana e Costa (1993a: 12) reconhece que “*a simplicidade e a interatividade devem ser linhas de força da actividade de apoio à decisão, para abrir as portas à participação e à aprendizagem*”. Ou seja, é através da participação e do diálogo entre intervenientes que se criará um ambiente propício à aprendizagem ao longo do processo de decisão. Neste sentido, tanto o diálogo como a discussão são atividades que proporcionam partilha entre os vários atores, aprofundando o conhecimento da problemática em questão.

Por fim, o construtivismo procura evidenciar a “criação” de novos modelos com referência aos sistemas de valores dos decisores. Esta perspetiva construtivista questiona a ideia de que tudo se resume à busca do ótimo matemático, assim como a utilização de procedimentos formais e únicos. Ou seja, ao adotar uma abordagem construtiva, é procurado apoiar a criação de um modelo de juízos de valor com base em hipóteses de trabalho para futuras recomendações (Bana e Costa, 1993a). Posto isto, no próximo ponto, procurar-se-á perceber quais os potenciais contributos que a análise multicritério poderá trazer para a avaliação das *smart cities*.

### **3.1.3. Possíveis Contributos para a Avaliação das Smart Cities**

Conforme exposto no capítulo anterior, as cidades tendem a aumentar rapidamente, tanto em número (densidade urbana) como em tamanho (Kourtiti *et al.*, 2012). Numa perspetiva económica, não existem argumentos que demonstrem a existência de um limite ótimo para o tamanho de uma cidade ou para a sua urbanização. Nesta lógica, uma *smart city* deve ser: (1) *regenerative*, devido à importância dada à sustentabilidade ambiental e ao relacionamento restaurado entre cidades; (2) *enabling*, devido à necessidade de tornar o cidadão consciente das suas capacidades e potencialidades; (3) *creative*, devido à necessidade de investimento por parte da cidade em cultura e à identificação dos fatores que permitam que a criatividade urbana favoreça novas economias e estimule o crescimento urbano; e (4) *sensible*, onde a tecnologia é orientada para as pessoas, visando melhorar a qualidade de vida das mesmas e

transformando-as em sensores móveis e flexíveis, requerendo o seu envolvimento, participação e *feedback* no crescimento urbano (*cf.* Kourtit e Nijkamp, 2012; Mattoni *et al.*, 2015).

Dos estudos já abordados, é possível verificar que as cidades que se preocupam em desenvolver componentes *smart* tendem a ter um melhor desempenho face àquelas que não desenvolvem estas componentes (Caragliu e Bo, 2012). Da mesma forma, quanto maior o seu desenvolvimento, maior o seu retorno económico e a sua *smartness* urbana. Neste sentido, Kourtit *et al.* (2012), Carli *et al.* (2013), Mattoni *et al.* (2015) e Chowdhury e Dhawan (2016), entre outros, realçam a importância da criação de instrumentos que possam mensurar os esforços feitos pelas cidades no desenvolvimento das suas componentes *smart*. Com efeito, Caragliu e Bo (2012) referem não existir uma metodologia suficientemente robusta para apoiar a criação de modelos de avaliação de *smart cities* e, nesta lógica, “*a model able to identify the boundaries of every single action, to match and overlap the variety of approaches in an integrated and holistic view, would represent an appropriate and powerful tool*” (Mattoni *et al.*, 2015: 106).

Face ao exposto, parece evidente que a utilização de técnicas multicritério pode oferecer um grande potencial no âmbito da avaliação das *smart cities*, fundamentalmente devido à sua capacidade de conseguir relacionar inúmeros critérios, quer sejam objetivos ou subjetivos, quantitativos ou qualitativos, explorados com base na troca de perspetivas e experiência de um grupo de decisores especializados na área. De resto, como referem Carli *et al.* (2013: 1288), “*clearly, a smart city requests a performance indicators dashboard to measure its smartness and eventually perform suitable actions in order to improve its smartness characteristics*”. Nesta matéria, Kourtit *et al.* (2012: 233) reforçam ainda que “*such indicators should be measurable, comparable, transferable and consistent over all relevant cities*”.

É importante salientar, no entanto, que “*a city is not a mere addition of a single and non-communication parts because urban structures and functions are linked*” (Mattoni *et al.*, 2015: 106). Ou seja, uma cidade está inserida num meio de grande incerteza e, tendo em conta a complexidade dos problemas relacionados atualmente às cidades, a abordagem MCDA permite simplificar estes processos, promovendo a aprendizagem e a geração de ideias. Com base nesta abordagem, é assegurado um método mais realista, interativo e racional, uma vez que se trata de um processo evolutivo e aberto a novas oportunidades.

A principal vantagem desta análise multicritério reside no facto de não se basear na construção de um único critério que tenha sobre sua alçada todos os aspetos relevantes de um problema (Bana e Costa *et al.*, 1997). Isto é, esta abordagem, ao integrar elementos objetivos e subjetivos e contemplando múltiplos critérios sem ter a ideia pré-concebida da procura do ótimo matemático, potencializa o seu valor quando adotada. Tendo em conta a complexidade dos problemas, esta abordagem tem por base uma vertente construtivista, onde é fomentada a partilha e a discussão entre decisores. Além disso, torna-se útil na medida em que analisa as diferentes perspetivas das alternativas, impulsiona a interação e a aprendizagem e contribui para a transparência de todo o processo, o que resulta em análises mais completas e pormenorizadas. Com efeito, por tratar-se de um processo evolutivo, propicia uma abordagem mais informada e estruturada.

Em modo de síntese, a adoção da abordagem MCDA enriquece a temática das *smart cities* dado que: (1) permite a análise de múltiplas alternativas e múltiplos decisores; (2) contempla a opinião e a experiência profissional dos decisores no processo de avaliação das *smart cities*; (3) permite a partilha de informação e torna claras as situações de conflito entre atores envolvidos; (4) substitui a busca da *solução ótima* por uma *solução de compromisso* aceite entre todos os envolvidos; e (5) capacita a construção de um modelo adaptado à problemática em análise e que não pré-exista. No próximo ponto, será abordada a estruturação de problemas de decisão.

### **3.2. Estruturação de Problemas de Decisão**

No âmbito da estruturação de problemas complexos, Eden (1994: 261) salienta que “*complexity of problem definition derives from the differences in interpretation each key factor in a situation gives to the events and to explanations of the influences between events*”. De facto, como referem Belton e Stewart (2002), a estruturação consiste em dar sentido a um problema de suporte à decisão de uma dada situação com a qual os intervenientes deste processo se confrontam. Por um lado, é necessário reconhecer que os sistemas de valores dos indivíduos desempenham um papel muito relevante na interpretação dos problemas de decisão e, por outro lado, os intervenientes trazem diferentes perspetivas e experiências, que criam diferentes crenças no processo de estruturação.

Um problema complexo surge como uma situação desestruturada, onde existe desacordo sobre o que precisa ser feito e/ou como deve ser feito. Assim, é fundamental que esse problema de decisão seja compreendido e estruturado (Mackenzie *et al.*, 2006). De acordo com Mingers e Rosenhead (2004: 531), “*unstructured problems are characterized by the existence of: (1) multiple actors; (2) multiple perspectives; (3) incommensurable and/or conflicting interests; (4) important intangibles; e (5) key uncertainties*”. Na prática, a estruturação e o enquadramento deste tipo de problemas é um processo de aprendizagem construtivo, onde os intervenientes procuram desenvolver uma representação formal e integrada do contexto da decisão e do propósito subjacente ao processo de apoio à tomada de decisão (Bana e Costa *et al.*, 1999).

Para Bana e Costa (1993b), a *fase de estruturação* deve manter-se em aberto, de forma a possibilitar os ajustamentos necessários na sua estruturação, dada a sua natureza recursiva (*i.e.* reestruturação). Esta capacidade só é possível pela adoção de uma atitude construtivista que estimula a discussão entre os intervenientes e permite que os decisores possam expressar os seus valores, que servirão de base para a construção de um modelo capaz de ser aceite como representação de todo o processo em estudo, onde deve ser adotado um determinado grau de construtivismo e de aprendizagem.

Na prática, a estruturação de problemas de decisão tem por base a conceptualização e articulação de critérios e alternativas. Os critérios refletem os valores dos decisores e são os meios onde as alternativas podem ser avaliadas. As alternativas são os cursos de ação, que podem ser seguidos e que terão resultados em termos dos critérios considerados (Corner *et al.*, 2001). Neste sentido, “*the decision problem is structured so as to separate the subjective components (criteria, values, preferences) from the objective components (alternatives and attributes), with a view to improving the decision process*” (Corner *et al.*, 2001: 131). No próximo ponto são apresentados alguns dos métodos existentes de estruturação dos problemas de decisão, denominados como *Problem Structuring Methods* (PSMs).

### **3.2.1 Problem Structuring Methods e Mapeamento Cognitivo**

*Problem Structuring Methods* (PSMs) são métodos de estruturação de problemas complexos. Segundo Rosenhead (1996), estes métodos fornecem uma resposta mais radical ao fraco encaixe da OR tradicional para problemas complexos, uma vez que: (1)

forneem condições que propiciam os decisores a utilizá-los numa perspectiva de múltiplos critérios; (2) facilitam a negociação entre intervenientes; e (3) permitem a formulação do problema através da transparência de representação. Neste sentido, os métodos de estruturação de problemas complexos surgem para auxiliar os intervenientes na compreensão desses mesmos problemas, promovendo a aprendizagem e auxiliando a intervenção de forma sustentável e sistémica perante momentos de indecisão e risco (Ackermann, 2012).

Rosenhead (2006: 759) é da opinião que *“these methods aimed to support were those problems that encompassed multiple actors, differing perspectives, partially conflicting interests, significant intangibles, and perplexing uncertainties”*. De igual modo, Ackermann (2012: 652) defende que os PSMs podem ser vistos como *“a key to producing agreements that would and could be implemented, particularly in situations where there was no clear agreement as to the exact problem or its solution”*. Com efeito, estes métodos pretendem auxiliar os decisores que, inicialmente, apresentem perspectivas diferentes, clarificando a compreensão da problemática em estudo para, mais tarde, ajudar a identificar quais as decisões mais acertadas (Cronin *et al.*, 2014).

De acordo com Mingers e Rosenhead (2004), um PSM deve: (1) permitir que várias alternativas possam ser conjugadas umas com as outras; (2) ser cognitivamente acessível, para que qualquer indivíduo possa utilizá-lo sem qualquer especialização ou treino; (3) operar iterativamente, para que a representação do problema se ajuste para/entre os intervenientes; e (4) permitir melhorias parciais quando identificadas e/ou comprometidas. A *Tabela 4* apresenta alguns dos métodos existentes para estruturação de problemas complexos (para detalhes, ver Mingers e Rosenhead, 2004; Ackermann, 2012; Marttunen *et al.*, 2017).

Método	Descrição
<i>Soft Systems Methodology (SSM)</i>	Método de investigação orientado para a ação onde os participantes criam modelos conceituais de tipo ideal, de forma a descodificar a situação e a tomar medidas para apoiá-la.
<i>Strategic Choice Approach (SCA)</i>	Abordagem de planeamento centrada na gestão da incerteza em situações estratégicas. Este método visa ajudar os decisores a escolher estrategicamente e de forma sustentável.
<i>Robustness Analysis</i>	Abordagem que se concentra em manter a flexibilidade útil sob influência da incerteza. Processo iterativo onde os participantes e analistas avaliam a compatibilidade de compromissos das alternativas iniciais com possíveis configurações futuras do sistema.
<i>Drama Theory</i>	Conjunção de duas abordagens anteriores, <i>metagames</i> e <i>hypergames</i> . Este método iterativo de análise de cooperação e conflito entre múltiplos intervenientes é construído a partir das perceções das opções disponíveis.
<i>Strategic Options Development and Analysis (SODA)</i>	Método geral de identificação de problemas com a utilização do mapeamento cognitivo para induzir e registar as perceções dos indivíduos sobre uma situação problemática. Os mapas cognitivos fomentam discussões em grupo e orientam os participantes.
<i>Viable Systems Model (VSM)</i>	Modelo genérico de uma organização viável, baseado em princípios cibernéticos. Embora desenvolvido com uma intenção prescritiva, pode também ser utilizado como parte de um debate sobre problemas de <i>design</i> e <i>redesign</i> organizacional.
<i>System Dynamics (SD)</i>	Modelo que permite a modelagem das perceções dos intervenientes sobre sistemas do mundo real baseados especialmente em relacionamentos causais e <i>feedback</i> .
<i>Decision Conferencing</i>	Construção de um modelo para apoiar a escolha entre alternativas de decisão e onde pode haver incerteza sobre eventos futuros. Visa a realização de uma compreensão generalizada, desenvolvimento de um propósito comum e a geração de um compromisso de ação.

Fonte: Elaboração Própria.

**Tabela 4: Métodos de Estruturação de Problemas**

A presente dissertação fará uso da metodologia SODA (Ackermann e Eden, 2001), que é um dos mais populares métodos *soft* utilizados na estruturação de problemas complexos. Esta abordagem não procura necessariamente uma solução ótima, mas sim uma solução de compromisso, em que o grupo esteja disposto a concordar. Este compromisso cognitivo, orientado para um plano de ação, é alcançado a partir do desenvolvimento de um entendimento partilhado entre participantes e pelo compromisso emocional através da sua participação no processo. O método SODA assume, assim, que cada participante tem uma perceção subjetiva do problema, sendo essa perceção baseada no seu conhecimento e na sua experiência pessoal, os quais

permitem, através da linguagem e conversação, a partilha de crenças e valores individuais (Mackenzie *et al.*, 2006). Neste processo, o papel do facilitador passa por fomentar a discussão entre o grupo de participantes sobre a problemática, auxiliando na obtenção de consenso necessário às decisões tomadas. Uma prioridade desta metodologia passa por apoiar o facilitador no desenvolvimento de dois tipos de habilidades na estruturação de problemas complexos: (1) atuar como um mediador eficaz em discussões para a tomada de decisão; e (2) auxiliar a construção de um modelo de grupo que pertença a todos mas sem deixar de conter as considerações individuais de cada participante (Ackermann e Eden, 2001).

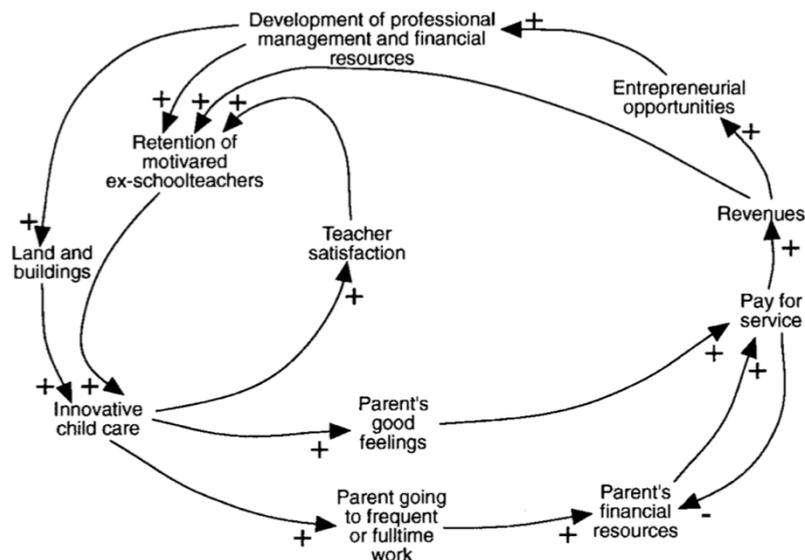
Conforme exposto por Mingers e Rosenhead (2004: 532), “*SODA is a general problem identification method that uses cognitive mapping as a modelling device for eliciting and recording individuals’ views of a problem situation*”. A abordagem SODA foi desenvolvida por Colin Eden como um meio para permitir que um indivíduo, ou um grupo de indivíduos, possam construir uma representação gráfica de uma situação problemática e, assim, explorar as opções e ramificações possíveis em relação a um sistema complexo de objetivos (*cf.* Ackermann, 2012). Esta representação gráfica surge sob a forma de mapas cognitivos e induz tanto o diálogo como a discussão entre intervenientes, apoia o facilitador na clarificação de como devem atuar e fomenta a elaboração de um modelo para futura estruturação de problemas complexos. De acordo com Mackenzie *et al.* (2006), este processo pode ser realizado através de entrevistas individuais (SODA I) ou realizado em grupo, com todos os decisores reunidos (SODA II), onde se espera que, como ação final, surja um mapa conjunto criado com base nas perceções de todos os envolvidos.

Segundo Ferreira *et al.* (2012 e 2016), o mapeamento cognitivo tem um grande potencial na estruturação de problemas complexos, nomeadamente porque promove a discussão e a partilha de informação entre decisores, permite reduzir a taxa de critérios omitidos na tomada de decisão e alavanca sinergias de conhecimento através da discussão e da análise reflexiva. Estes mapas são, assim, uma ferramenta importante para a estruturação e clarificação de problemas complexos, uma vez que são simples, interativos (dependendo do grau de envolvimento dos participantes) e extremamente versáteis (Ferreira *et al.*, 2014).

Para Kpoumié *et al.* (2012: 8), os mapas cognitivos não devem ser vistos “*as a goal but as a mean*”, uma vez que devem ser encarados como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão. Com efeito, os mapas destinam-se a representar, visualmente, os

argumentos de um indivíduo ou grupo de indivíduos (Kitchin, 1994 e Mackenzie *et al.*, 2006). São oportunos, uma vez que são informais, e fáceis de usar, auxiliando os indivíduos a visualizar de forma mais sistematizada e ampliada o problema em análise. É precisamente neste sentido que Carlucci *et al.* (2013: 211) referem que um mapa cognitivo apresenta duas funções principais, nomeadamente: (1) *“provides a visual representation that can help individuals to elaborate a problem statement, to transform its ambiguous status into an explicit condition, to constrain unnecessary cognitive work, and, eventually to create possible solutions”*; e (2) funciona como *“a thinking tool [...] supports the processes of generation and elaboration of ideas”*.

O processo de construção de um mapa cognitivo é composto pela recolha, seleção e organização dos dados obtidos, de modo a armazenar toda a informação e deixar em aberto a possibilidade de se efetuarem alterações quando e se necessário. A este propósito, Eden (2004: 673) defende que *“the maps are a network of nodes and arrows as links [...] where the direction of the arrow implies believed causality”*. Isto é, depois da recolha e seleção dos conceitos, estes são organizados e ligados entre si através de setas, cuja direção representa uma relação de causalidade (Eden, 2004; Mackenzie *et al.*, 2006). Estas setas podem ser acompanhadas por sinais positivos (+) ou negativos (-), de acordo com o tipo de relação causal percebida pelos decisores. Como refere Marchant (1999: 627), *“arrows indicate the way in which one idea may lead to, or have implications for, another [...] nodes are considered as random variables and arcs as evidence of probabilistic dependence”*. A *Figura 1* exemplifica um mapa cognitivo.



Fonte: Marchant (1999: 627).

**Figura 1: Exemplo de um Mapa Cognitivo**

De acordo com Belton e Stewart (2002), na elaboração de mapas cognitivos existem duas abordagens diferentes: (1) *top-down*; e (2) *bottom-up*. A abordagem *top-down* tende a ser orientada para os objetivos, através de uma visão mais abrangente dos objetivos gerais, tornando gradualmente esses valores iniciais em conceitos mais detalhados. A abordagem *bottom-up*, por seu turno, é orientada para as alternativas, iniciando-se com a análise de situações mais detalhadas estimuladas a partir dos pontos fortes e fracos das alternativas disponíveis de modo a chegar gradualmente aos objetivos.

Em suma, fazendo uma análise do que foi abordado anteriormente, verifica-se uma forte ligação entre a lógica construtivista e a elaboração de mapas cognitivos, ferramentas essenciais para a tomada de decisão. Desta forma, na estruturação de problemas complexos, parece evidente a necessidade de alterações eventuais sobre os atributos para possível retificação de desvios, surgindo assim o conceito de *Estruturação por Pontos de Vista*.

### 3.2.2 Estruturação por Pontos de Vista

Na sequência da informação já abordada, os métodos de estruturação são uma ferramenta vantajosa para o entendimento comum de problemas complexos. Em

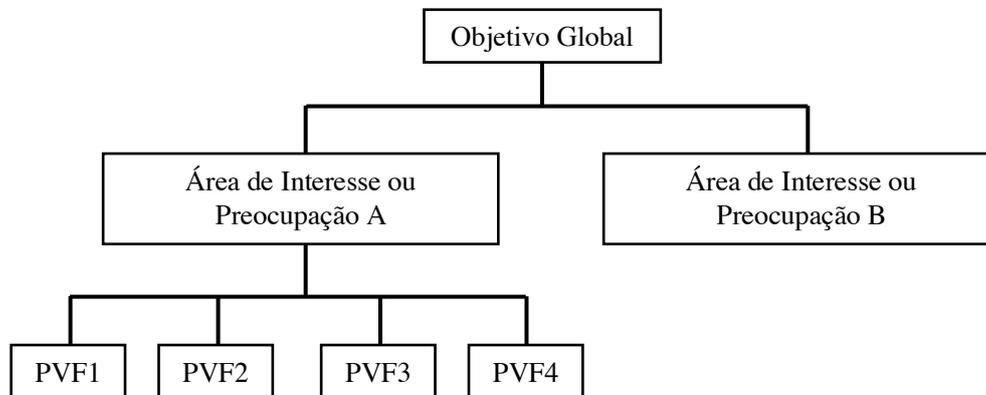
particular, a forma como é conduzido o processo de *estruturação* pode divergir em função de duas perspetivas distintas, nomeadamente: (1) perspetiva centrada nos objetivos dos atores; ou (2) perspetiva centrada nas características das ações (Bana e Costa, 1993b). Importa ter presente, no entanto, que tanto as características das ações como os objetivos dos decisores são ambos elementos importantes no processo de avaliação, acabando por assumir um papel de complementaridade, sendo através desta fusão que surgem os denominados *Pontos de Vista* (PVs). Citando Bana e Costa (1993b: 24), “*na sua função de elementos primários de avaliação, objetivos e características activas ligam-se no que chamamos de pontos de vista*”.

Na prática, um PV “*representa todo o aspecto da decisão real apercebido como importante para a construção de um modelo de avaliação de acções existentes ou a criar [...] um tal aspecto, que decorre do sistema de valores e ou da estratégia de intervenção de um actor no processo de decisão, agrupa elementos primários que interferem de forma indissociável na formação das preferências desse actor*” (Bana e Costa, 1993b: 24). Os PVs emergem durante a discussão entre intervenientes e são reconhecidos como pertinentes sempre que, em conformidade, estes se mostrem relevantes a um determinado contexto (Bana e Costa e Beinat, 2011). Por conseguinte, o trabalho de estruturação corresponde à identificação progressiva e interativa de PVs, sendo necessário esclarecer e operacionalizar esses PVs através da busca de interconexões e incompatibilidades entre eles (Bana e Costa, 1993b).

Segundo Bana e Costa *et al.* (1999) e Ensslin *et al.* (2000), os PVs podem ser de dois tipos: (1) *Pontos de Vista Fundamentais* (PVFs); e (2) *Pontos de Vista Elementares* (PVEs). Os primeiros são definidos pelos autores como sendo “*ends*”, enquanto os segundos são vistos como “*means to achieve ends*” (Bana e Costa *et al.*, 1999: 317). Deste modo, podemos afirmar que um PVF é visto como único e que cada PVF corresponderá a um critério de avaliação no modelo construído. Nesse sentido, um PVF deve ser consensual, exaustivo, não-redundante e o mais conciso possível (Roy, 1985; Bana e Costa e Beinat, 2011).

Uma vez identificados, os PVs devem ser organizados por áreas de preocupação ou interesse numa estrutura arborescente (*i.e. árvore de pontos de vista*). Através da estruturação da árvore de pontos de vista é possível: (1) alcançar um modelo multicritério para a avaliação das várias ações; (2) melhorar a comunicação com e entre os atores; (3) clarificar convicções e fundamentos; e (4) permitir a obtenção de um compromisso entre os interesses e aspirações de cada ator envolvido no processo (Bana

e Costa *et al.*, 1999). Estas estruturas permitem visualizar os vários níveis de especificação dos PVs. Na *Figura 2* está apresentado um exemplo de uma *árvore de pontos de vista*.



*Fonte: Elaboração Própria.*

**Figura 2: Exemplo de uma Árvore de Pontos de Vista**

No próximo ponto será abordada a avaliação multicritério com particular relevo nas *non-addictive measures* (NAM), nas quais se inclui o Integral de Choquet (IC).

### **3.3. A Avaliação Multicritério**

Como visto anteriormente, o processo de apoio à tomada de decisão encontra-se subdividido em três fases: (1) *estruturação*; (2) *avaliação*, e (3) *recomendações*. Uma vez estruturado o problema de decisão, surge a fase de avaliação. Esta fase consiste fundamentalmente na construção de um modelo onde cada PVF será analisado e ponderado o seu impacto no problema em estudo. O sucesso desta fase está diretamente relacionado com a forma como é desenvolvida a fase de estruturação, sendo ambas vistas de modo complementar e não isoladas uma da outra (Bana e Costa e Vansnick, 1995).

Quando lidamos com problemas complexos, é importante ter em conta a independência que existe nos seus elementos. Para tal, segundo Cinelli *et al.* (2014), existem diferentes métodos de avaliação baseados na abordagem MCDA, entre eles: (1) *Multiple Attribute Utility Theory* (MAUT), que se baseia na agregação de desempenho, requer a identificação de funções de utilidade e de pesos para cada critério que podem

então ser materializados em um único critério síntese, composto por agregações aditivas e multiplicativas; (2) *Analytical Hierarchy Process* (AHP), que surge também como abordagem de agregação, introduzido por Saaty com o intuito de avaliar critérios tangíveis e intangíveis em termos relativos por meio de uma escala absoluta (Saaty, 1980); (3) *Elimination and Choice Expressing the Reality* (ELECTRE), que remete para a agregação de preferências, através de comparações pareadas (*i.e. pair-wise comparisons*) das alternativas, também reconhecidas como abordagens de *outranking*, dado que visam avaliar se a opção *a* é pelo menos tão boa quanto a opção *b* (Roy, 1996, Belton e Stewart *et al.* 2002); (4) *Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations* (PROMETHEE), que é aplicado em problemas com um número finito de alternativas e utiliza essencialmente dois tipos de informação: (i) a importância/pesos dos critérios considerados; e (ii) a informação relativa às preferências dos envolvidos na análise (Gul *et al.*, 2018); e (5) *Dominance-based Rough Set Approach* (DRSA), que é uma técnica relativamente recente que lida com problemas de classificação, de escolha e de *ranking* (Greco *et al.*, 2001), consistindo numa tabela de informações cujas linhas são definidas como alternativas, enquanto que as colunas são divididas em atributos de condição, ou seja, os critérios necessários para avaliar as alternativas e o atributo de decisão, que representa uma avaliação geral da alternativa.

Face ao exposto, a presente dissertação recorrerá a métodos de agregação de medidas não-aditivas, pertencentes à abordagem MAUT. Estes métodos surgiram para dar suporte a conceitos inexatos e de julgamento subjetivo (Wang, 2011) e serão abordados no próximo ponto.

### **3.3.1 Avaliação Multicritério e os Métodos NAM**

Como visto, a avaliação multicritério é um processo complexo, mas essencial na tomada de decisão, pois possibilita a preservação e a continuidade do processo e permite avaliar as ações potenciais do problema através de uma multiplicidade de critérios ou PVFs.

Com o passar do tempo, a teoria clássica, baseada em medidas puramente aditivas, foi progressivamente confrontada com o surgimento de medidas não-aditivas (Chitescu e Plavitu, 2017). As *non-additive measures* (NAM) são conhecidas como medidas não-aditivas ou medidas *fuzzy* (Torra e Narukawa, 2016). As medidas não-aditivas surgem para superar as limitações encontradas nas medidas aditivas, nomeadamente em situações onde os critérios utilizados apresentam interações ou

interdependências (Ferreira *et al.*, 2017). Citando Gomes *et al.* (2015), “*a fuzzy measure indicates the degree of evidence that an element belongs to a set*”. Estas medidas são utilizadas quando os modelos não se demonstram capazes de fornecer uma descrição realista do processo em decisão (Ralescu e Adams, 1980). Possibilitam a atribuição de diferentes graus de importância às preferências e verificam se as condições estipuladas foram cumpridas (Gomes *et al.*, 2015). Desta forma, é possível criar modelos com diferentes interações através das preferências dos decisores.

Segundo Choquet (1953), Gomes *et al.* (2015), Torra e Narukawa (2016) e Ferreira *et al.* (2017), uma medida não-aditiva em  $N$  é representada matematicamente pela função  $\mu: 2^N \rightarrow [0,1]$  e deve reunir as seguintes propriedades:

$$0 \leq \mu(A) \leq 1, \text{ para qualquer } A \in N; \quad (1)$$

$$\mu(\emptyset) = 0; \mu(N) = 1 \text{ (condição limite);} \quad (2)$$

$$\forall S \subseteq T \subseteq N, \mu(S) \leq \mu(T) \text{ (condição monotonicidade).} \quad (3)$$

O valor dado a uma medida *fuzzy*  $\mu$  para um conjunto de critérios  $S$  é representado por  $\mu(S)$ . No caso de problemas complexos na tomada de decisão, o valor está relacionado com a importância dada pelos decisores a cada conjunto de critérios  $S$  (Gomes *et al.*, 2015 e Ferreira *et al.*, 2017). Uma medida *fuzzy* é considerada aditiva quando  $\mu(S \cup T) = \mu(S) + \mu(T)$  para qualquer  $S, T \subseteq N$  tal que  $S \cap T = \emptyset$ ; ou não-aditiva, caso contrário. Sendo não-aditiva, pode ser considerada não-aditiva *super-aditiva* se  $\mu(S \cup T) \geq \mu(S) + \mu(T)$ , onde nestes casos estamos perante um efeito sinérgico; ou não-aditiva *sub-aditiva* se  $\mu(S \cup T) \leq \mu(S) + \mu(T)$ , onde estamos presentes sob um efeito redundante (Bottero *et al.*, 2014). Através do desenvolvimento destas medidas surge o Integral de Choquet, uma das medidas não-aditivas mais conhecidas atualmente.

### 3.3.2. O Integral de Choquet

Conforme Chitescu e Plavitu (2017), havendo uma medida, é sempre possível ter um integral em relação a essa medida. As medidas não-aditivas possuem diversos integrais, sendo atualmente o Integral de Sugeno e o Integral de Choquet (IC) os mais populares. O IC foi criado em 1953, por Gustave Choquet, e trata-se de um integral de agregação flexível, pertencente ao grupo das NAM (Choquet, 1953).

No contexto de análise multicritério, e de acordo com Krishnan *et al.* (2015: 428), “*aggregation can be defined as a process of composing the performance scores (scores with respect to a set attributes) of each alternative under evaluation into a single or global score*”. Uma função que sintetize as pontuações dos atributos e os ordene num *ranking* é geralmente reconhecida como um operador de agregação. É esperado que os operadores de agregação satisfaçam as propriedades matemáticas apresentadas em (1), (2) e (3), bem como algumas propriedades comportamentais (*i.e.* capacidade de expressar as interações partilhadas entre critérios de avaliação).

De acordo com Torra e Narukawa (2016: 137), “*Choquet integrals with respect to non-additive measures (or fuzzy measures) have been used in a large number of applications because [it permits] us to integrate information from different sources when there are interactions*”. Desta forma, em vez de serem criados critérios únicos, de acordo com o método da média ponderada, o IC permite combinações de critérios (Ferreira *et al.*, 2017). Com efeito, o IC surge como um operador de agregação NAM que “*considers the interactions between  $K$  out of  $n$  criteria of the problem, which is called the  $k$ -additivity property*” (Gürbüz, 2010: 291). O valor da interação dos critérios  $K$  pode ser positivo ou negativo sendo que uma interação positiva entre dois critérios mostrará que ambos devem ser satisfeitos, enquanto uma interação negativa indicará que apenas um critério é suficiente para ser considerado de sucesso ou de bom desempenho. Na prática, segundo Chitescu e Plavitu (2017), a importância do IC como uma ferramenta de agregação – ou seja, um instrumento de compressão de uma multiplicidade de dados – resulta do uso de medidas não-aditivas, sendo estas medidas essenciais para problemas que requerem confiabilidade (no sentido de um critério pertencer a um conjunto) e plausibilidade como complemento à confiabilidade.

Importa salientar que, quanto maior o número de parâmetros em estudo, maior será a complexidade numérica do integral. De acordo com Timonin (2013), Gomes *et al.* (2015) e Ferreira *et al.* (2017), o IC representa todas as combinações possíveis,

especificando  $2^N$  parâmetros. Se  $2^N$  for o conjunto de potência de  $N$ , onde são incluídos todos os subconjuntos de critérios  $N$ , uma medida *fuzzy* (ou capacidade) em  $N$ , como já referidos anteriormente, é definida pela função  $\mu: 2^N \rightarrow [0,1]$ , com as propriedades referidas em (2) e (3). Desta forma, de acordo com Timonin (2013) e Ferreira *et al.* (2017), dada uma medida não-aditiva (ou *fuzzy*)  $\mu$  e os valores dos critérios de uma alternativa particular  $[\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n]$ , o IC é dado pela fórmula (4):

$$Ch([\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n], \mu) = \sum_{i=1}^n (\chi_{(i)} - \chi_{(i-1)}) * \mu(A_{(i)}), \quad (4)$$

onde  $\chi_{(1)}, \chi_{(2)}, \dots, \chi_{(n)}$  representa um índice de permutação em  $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n$  tal que  $\chi_{(i)} \leq \chi_{(i-1)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n - 1$ , com  $\chi_{(0)} = 0$ . Na literatura, autores como Mesiarová-Zemánková *et al.* (2010) e Torra e Narukawa, (2016) exploram duas extensões do IC: o simétrico e o assimétrico. O IC simétrico é dado por pela formulação (5):

$$Chs_m(x) = Ch_m(x^+) - Ch_m(x^-). \quad (5)$$

O IC assimétrico define-se pela equação (6):

$$Cha_m(x) = Ch_m(x^+) - Ch_{m^d}(x^-), \quad (6)$$

onde  $x^+ = (x_1^+, \dots, x_n^+)$ , com  $x_i^+ = \max(0, x_i)$  e  $x^- = (x_1^-, \dots, x_n^-)$ , com  $x_i^- = \max(0, -x_i)$  e  $m^d$  representa uma dupla medida não-aditiva de  $m$  sendo  $m^d(A) = 1 - m(A^c)$  para qualquer  $A \subseteq X$  com  $A^c$  sendo um complemento do conjunto de  $A$ . Nesta lógica, são facilmente simplificadas as equações do IC simétrico e assimétrico pelas fórmulas 7 e 8, respetivamente:

$$Chs_m(-x) = -Ch_m(x); \quad (7)$$

$$Cha_m(-x) = -Cha_{m^d}(x), \quad (8)$$

Para a abordagem MCDA, este integral mostra-se uma ferramenta muito poderosa, quando bem aplicado em modelos para problemas complexos através da estimação de medidas não-aditivas que representem as preferências dos decisores na

tomada de decisão (Timonin, 2013). Este processo é conhecido como a identificação da capacidade na medida em que, por vezes, devido ao conhecimento insuficiente do sistema modelado, os decisores não são capazes de fornecer valores necessários com precisão suficiente. Isto leva a uma situação onde a representação numérica (*i.e.* capacidade) das suas preferências não é única. Nestas circunstâncias, é necessário tomar uma decisão escolhendo uma ação de forma a maximizar o integral. Na prática, *“the capacity identification process involves translating informal knowledge, obtained from the decision maker, to the language of constraints on the set of capacities”* (Timonin, 2013: 31). No ponto seguinte, é feito o levantamento das vantagens e limitações do IC.

### **3.3.3. Vantagens e Limitações do Integral de Choquet**

Qualquer que seja a abordagem utilizada num determinado estudo, é sempre de esperar que existam vantagens e desvantagens na adoção dessa mesma abordagem. O IC surge como uma ferramenta de agregação de informação para problemas complexos, permitindo aos decisores uma análise cruzada entre critérios dada a sua capacidade de lidar com a interdependência entre critérios de avaliação (Murofushi e Sugeno, 1991; Llamazares, 2015). De facto, conforme salientam Wang (2011: 306), *“Choquet integral is a powerful tool for decision analysis, pattern recognition and classification due to its ability to handle the non-additivity of many real cases”*. Posto isto, este integral é considerado uma das ferramentas mais poderosas no âmbito da abordagem MCDA, sendo cada vez mais aplicado em diversas áreas de conhecimento (Timonin, 2013). Com efeito, *“a large number of applications exist nowadays mainly in the areas of decision making, computer science, fuzzy reasoning and economics. It has also been used to build models of decision under uncertainty and risk”* (Torra e Narukawa, 2016: 137). Para Krishnan *et al.* (2015), dada a sua capacidade para modelar a interação entre critérios, a aplicação do IC gera uma solução única com resultados práticos e realistas, já que a maioria dos problemas complexos envolve dados numéricos com significado real e onde a agregação cardinal é necessária. Nesse sentido, como referem os autores, *“Choquet integral has the merit in producing unique solution”* (Krishnan *et al.*, 2015: 428).

No que toca às desvantagens, uma primeira é apresentada por Ferreira *et al.*, (2017: 176), que referem que, *“because capacity is defined in the power set of  $N$ , [...] the complexity of the problem becomes unmanageable for larger sets of criteria”*. Em

consonância, Krishnan *et al.* (2015) referem que uma das desvantagens mais evidentes do IC se prende com o facto de requerer a identificação prévia dos valores  $2^N$  das medidas *fuzzy*, sabendo que a complexidade de identificação desses valores aumenta em função do número de critérios de avaliação considerados. Neste sentido, quanto mais simples for o processo de identificação das medidas *fuzzy*, mais motivados ficam os decisores ao utilizar o IC.

Uma vez que as vantagens do IC parecem superar as suas limitações, a presente dissertação fará uso integrado deste integral com técnicas de mapeamento cognitivo, no sentido de se construir um índice multicritério de avaliação de *smart cities*. Será essa a tónica do próximo capítulo.

### ***SINOPSE DO CAPÍTULO 3***

Neste terceiro capítulo, foram apresentadas as abordagens existentes para o apoio à decisão, dando ênfase à abordagem MCDA como corrente *soft* da OR. Desde cedo, houve a necessidade de resolver problemas de elevada complexidade e, numa fase inicial, as abordagens focavam-se na busca pelo ótimo matemático, características do paradigma *hard*. Mais tarde, surge a abordagem *soft*. Esta corrente distingue-se da corrente *hard*, em grande parte, por aceitar a subjetividade no processo de decisão. Por outras palavras, a MCDA foca-se na integração de elementos objetivos e subjetivos, tendo como principal objetivo a construção de algo que, por definição, não pré-exista. Posto isto, foram abordadas as diferentes fases do processo de apoio à tomada de decisão, nomeadamente: *estruturação*; *avaliação*; e *recomendações*. Foram também apresentados os paradigmas e as convicções epistemológicas inerentes a esta abordagem: (1) *interpenetração de elementos objetivos e subjetivos e respetiva inseparabilidade*; (2) *aprendizagem pela participação*; e (3) *construtivismo*. Uma vez que o contexto em que se inserem as *smart cities* é complexo e apresenta inúmeras situações de incerteza, o recurso a esta abordagem parece dotar-se de grande potencial. De seguida, foi tratada a estruturação de problemas de decisão e expostos alguns dos métodos existentes para o efeito. Nesse contexto, apresentaram-se os mapas cognitivos como ferramenta associada ao método SODA, realçando-se que se destinam a representar ideias, preferências, objetivos e/ou valores do decisor. Por outras palavras, os mapas cognitivos são vistos como uma representação gráfica através de uma representação discursiva dos decisores face a um determinado problema em análise. É através da elaboração do mapa cognitivo que se transita da etapa de *estruturação* para a etapa de *avaliação*. A *estruturação por pontos de vista* constitui outro conceito abordado, sendo considerado relevante para melhor compreensão do conceito de PVF, uma vez que surgem da interação entre os objetivos dos atores e as características das ações. Na parte final deste capítulo, foi justificada a opção pela utilização de métodos NAM, dos quais faz parte o Integral de Choquet (IC). Este integral é considerado uma das ferramentas mais poderosas no âmbito da abordagem MCDA, uma vez que permite aos decisores analisar a interdependência entre critérios. Posto isto, procedeu-se ao levantamento de vantagens e limitações do IC. O próximo capítulo dará início à componente empírica, onde se procederá à construção de um índice multicritério para avaliação de *smart cities*.

Neste capítulo, inicia-se a segunda parte da presente dissertação, que se destina à componente empírica desenvolvida. Será apresentado o processo seguido que, fazendo uso integrado de mapas cognitivos e do IC, permitiu desenvolver um sistema de avaliação de *smart cities*. Neste sentido, o capítulo foca-se na apresentação dos processos seguidos para elaboração de um mapa cognitivo coletivo, assim como nas diferentes etapas de aplicação do IC. Com base nos resultados obtidos, é criado um *ranking* de alternativas (*i.e. smart cities*), procedendo-se, de seguida, a uma fase de validação.

#### 4.1. Mapa Cognitivo Coletivo

Como abordado anteriormente, a *fase de estruturação*, segundo Bana e Costa (1993b), é vista como a etapa mais importante do processo de tomada de decisão, pois visa a construção de um modelo que possa servir de base à aprendizagem, comunicação e à discussão interativa com e entre os envolvidos. Com base nas ideias de Ferreira *et al.* (2011), a definição e estruturação do problema são essenciais para a compreensão do problema em análise, assim como para o desenvolvimento das etapas seguintes (*i.e. avaliação e recomendações*). Neste sentido, com o propósito de criar um índice para avaliar as *smart cities* nacionais, a estruturação do problema foi feita através do recurso ao mapeamento cognitivo sustentado pela abordagem SODA.

A elaboração do mapa cognitivo coletivo pressupôs a realização de sessões presenciais com um grupo de decisores com *know-how* nas áreas relacionadas com a temática em estudo (*i.e. smart cities*), algo que permitiu uma análise minuciosa e pormenorizada do problema de decisão em análise. Relativamente ao número de pessoas a incluir no painel de especialistas, a literatura aponta para 5-7 especialistas (*cf. Bana e Costa et al., 2002*) e, nesse sentido, o presente estudo contou com um painel de seis decisores de diferentes áreas (*i.e. tecnologia e soluções smart, poupança de energia e mobilidade, gestão integrada de edifícios, planeamento urbano e, ainda, um cidadão*

comum que marcou presença no sentido de representar a perspetiva do utilizador). As duas sessões de trabalho tiveram uma duração aproximada oito horas (*i.e.* 4+4) e, para além do painel de decisores, estiveram presentes dois facilitadores (*i.e.* investigadores), responsáveis pela condução do processo e pelo registo dos resultados alcançados.

A primeira sessão de grupo iniciou-se com um breve enquadramento sobre o objetivo de trabalho e da metodologia a ser utilizada para que os envolvidos se familiarizassem e se adaptassem ao processo. Seguidamente, foi colocada aos decisores a seguinte *trigger question*: “Com base nos seus valores e experiência profissional, quais os fatores e as características da melhor smart city?”. Esta questão de base permitiu dar início à discussão e à partilha de perspetivas entre o grupo de decisores através da aplicação da “técnica dos *post-its*” (Ackermann e Eden, 2001). Esta técnica requer que os decisores escrevam em *post-its* o que consideram ser, na sua ótica, os critérios mais importantes para dar resposta à *trigger question* apresentada. Nesta lógica, em cada *post-it*, deverá constar apenas um e só um critério, sendo que caso este critério apresente uma relação de causalidade negativa, deve ser identificado com um sinal menos (–) no campo superior direito do *post-it* (*cf.* Ferreira, 2011).

Após a obtenção de um número significativo de critérios, foi solicitado aos decisores que agrupassem os *post-its* por *clusters*, permitindo, desta forma, a identificação dos vários grupos de critérios que se relacionavam entre si. Com base num extenso processo de discussão, este exercício resultou na definição de seis *clusters*, nomeadamente: *Tecnologia*; *Planeamento e Ambiente*; *Pessoas*; *Transportes e Mobilidade*; *Infraestruturas e Materiais*; e *Serviços*. Posto isto, foi ainda solicitado aos decisores que avaliassem as relações de casualidade entre os vários critérios e, ainda, que hierarquizassem os critérios dentro de cada *cluster*, seguindo uma lógica meios-fins (Ferreira, 2011). A *Figura 3* é ilustrativa da dinâmica de grupo verificada durante a aplicação da “técnica de *post-its*”.



**Figura 3: Momentos Registrados Durante a Primeira Sessão de Grupo**

Após a primeira sessão, os dados recolhidos foram introduzidos no *software Decision Explorer* ([www.banxia.com](http://www.banxia.com)), procedendo-se à elaboração de um mapa cognitivo de grupo. Esse mapa foi, posteriormente, facultado ao painel de decisores, com o intuito de ser objeto de revisão e de validação. Caso os decisores não concordassem com a forma e/ou conteúdo do mapa, ser-lhes-ia dada a possibilidade de inserir e/ou alterar critérios, reformular *clusters* e/ou recomeçar o estudo desde o início. Após manifestação de satisfação, por parte do painel, relativamente à forma e ao conteúdo da versão final do mapa (ver *Figura 4*), deu-se por concluída esta fase do processo. A etapa seguinte passou pela definição de uma árvore de critérios principais (CRTs ou PVFs).

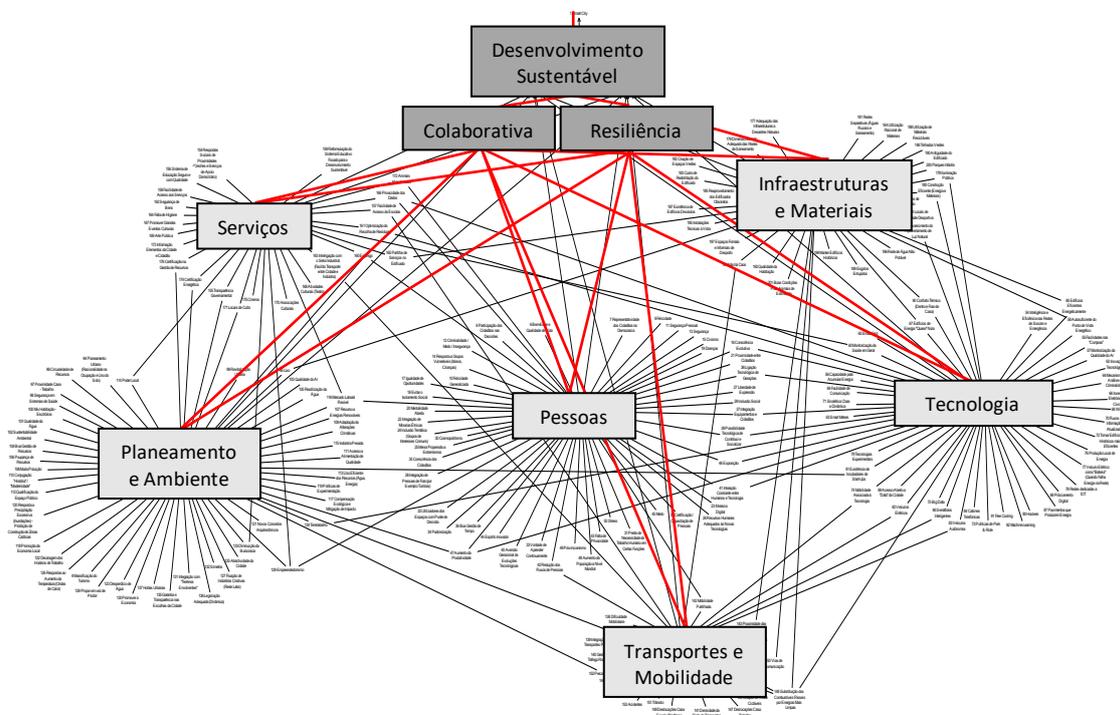


Através da *Figura 4* é possível analisar as seis principais áreas de interesse identificadas pelo grupo de decisores, que refletem os *clusters* determinantes para a melhor *smart city*. Estes são: *Tecnologia*; *Planeamento e Ambiente*; *Pessoas*; *Transportes e Mobilidade*; *Infraestruturas e Materiais*; e *Serviços*. Especificamente, o *cluster Tecnologia* surge como pertinente devido ao seu exponencial crescimento na atualidade e incorpora tudo o que diz respeito a políticas e/ou soluções tecnológicas relativas ao desenvolvimento de *smart cities* (e.g. edifícios eficientes energeticamente, *big data*, fluxos de informação atualizados, inovação tecnológica, veículos elétricos, *smart meters* e *smart grid*). O *Planeamento e Ambiente* contém as variáveis relativas à componente ambiental e de planeamento urbano que influenciem a sociedade no desenvolvimento da *smartness* urbana (e.g. circularidade dos recursos, atratividade da cidade, revitalização urbana, reutilização da água, sustentabilidade ambiental e boa gestão de recursos). Já *Pessoas* foi visto como determinante numa *smart city*, dado que, antes de qualquer criação e/ou implementação de soluções *smart* num meio urbano, as pessoas são os protagonistas de uma cidade e traduzem a sua infraestrutura social (e.g. bem-estar e qualidade de vida, participação dos cidadãos nas decisões e liberdade de expressão). De seguida, *Mobilidade e Transportes*, como o nome indica, tem em conta a componente mobilidade e tudo a ela inerente numa *smart city* (e.g. mobilidade partilhada, integração de transportes públicos e criação de redes cicláveis). Por sua vez, *Infraestruturas e Materiais* contempla variáveis que dizem respeito a recursos tangíveis e políticas de melhoria urbana numa *smart city* (e.g. utilização de materiais recicláveis, favorecimento de aproveitamento da luz natural, redes separativas (águas fluviais e saneamento) e telhados verdes). Por fim, *Serviços* acarreta aquilo que é mais valorizado pelas pessoas no que toca à capacidade e/ou competência dos serviços disponibilizados (e.g. facilidade de acesso aos serviços, respostas sociais de proximidade e reformulação do sistema educativo focado para o desenvolvimento sustentável).

De acordo com Bell e Morse (2013), os métodos de estruturação, como o mapeamento cognitivo, são mais direcionados para o processo e menos direcionados para os resultados em si. O processo é inerentemente subjetivo, o que significa que diferentes resultados podem ser obtidos com um grupo diferente. Todavia, essa subjetividade é reconhecida como parte do método e integrada no processo de decisão. Nesse sentido, é importante realçar que, com a adoção deste processo subjetivo, foi possível identificar vários critérios, assim como as relações de causalidade entre si.

## 4.2. Árvore de Critérios

O passo seguinte do processo de estruturação consistiu na passagem do mapa cognitivo para uma estrutura arborescente – *i.e.* uma *árvore de critérios* – através da identificação das principais áreas de interesse. Assim sendo, é possível verificar que alguns dos critérios contemplados na estrutura cognitiva foram considerados determinantes no desenvolvimento de uma *smart city*, nomeadamente: *Tecnologia; Planeamento e Ambiente; Pessoas; Transportes e Mobilidade; Infraestruturas e Materiais; e Serviços*, permitindo, assim, a definição dos principais CRTs segundo as orientações metodológicas de Keeney (1992) (ver *Figura 5*).



**Figura 5: Identificação dos Ramos Cognitivos e das Linhas de Argumentação das Áreas**

Após representação das principais áreas de interesse na *Figura 5*, identificadas pelo grupo de decisores como fulcrais para a definição dos índices de avaliação das *smart cities*, a *Figura 6* revela a estrutura arborescente que sumariza esta análise.



**Figura 6: Árvore de Critérios**

Analisada e validada a árvore de CRTs, por parte dos decisores, a fase seguinte do processo consistiu na aplicação do IC.

#### **4.3. Aplicação do Integral de Choquet**

Uma vez concluída a *fase de estruturação* do problema, deu-se início à *fase de avaliação*, tendo esta sido realizada no decorrer da segunda sessão de trabalho em grupo. Numa primeira etapa da sessão, foi explicado aos decisores, de forma sucinta, qual seria o método a ser aplicado (*i.e.* IC) e de que forma é que este se revelava pertinente para a resolução do problema de decisão em causa. De seguida, foi apresentado ao painel uma matriz, na qual se encontravam representadas todas as combinações possíveis em torno dos seis CRTs identificados na primeira sessão de grupo (*ver Apêndice I*).

Segundo Choquet (1953), Gomes *et al.* (2015) e Ferreira *et al.* (2017), o número de combinações possíveis requer a especificação de  $2^N$  parâmetros, algo que, neste caso, remete para a existência de 64 combinações possíveis (*i.e.*  $2^6 = 64$ ). Nesta lógica, dando seguimento à fase de avaliação do problema, foi pedido aos decisores que se concentrassem nas várias combinações apresentadas na matriz e que, em grupo, procedessem à sua avaliação, numa escala nominal de 0 a 10 pontos, onde o valor 0 corresponde a uma situação totalmente indesejável; o valor 5 a uma situação comum; e o valor 10 a uma situação extremamente atrativa em termos de classificação de uma *smart city*. Foi também explicado ao painel que, no caso do IC, a pontuação atribuída às diferentes combinações poderia subir ou descer, não havendo relações de precedência

(e.g. se uma combinação prévia fosse pontuada com 6 pontos, nada impedia que a combinação a seguir obtivesse apenas 5 ou 4 pontos). Com a finalidade de pontuar as diferentes combinações, o painel de decisores recorreu, sempre que necessário, ao mapa cognitivo coletivo, pois o mapa facilitou a compreensão dos CRTs e a forma como se correlacionam entre si. A *Figura 7* ilustra essa etapa da segunda sessão de grupo, em que se procedeu à pontuação das diferentes combinações.



**Figura 7: Momentos Registados Durante a Segunda Sessão de Grupo**

As pontuações atribuídas pelos decisores às 64 combinações possíveis são apresentadas no *Apêndice I*. A título exemplificativo, poder-se-á considerar a 55<sup>a</sup> linha, em que à combinação *Bom, Bom, Mau, Mau, Bom e Bom* foram atribuídos 6 pontos (ver *Tabela 5*).

#	CRT01 Serviços	CRT02 Planeamento e Ambiente	CRT03 Pessoas	CRT04 Transportes e Mobilidade	CRT05 Infraestruturas e Materiais	CRT06 Tecnologia	Ponderação
1	Mau	Mau	Mau	Mau	Mau	Mau	0
2	Bom	Mau	Mau	Mau	Mau	Mau	0
3	Mau	Bom	Mau	Mau	Mau	Mau	1
4	Mau	Mau	Bom	Mau	Mau	Mau	0
5	Mau	Mau	Mau	Bom	Mau	Mau	0
6	Mau	Mau	Mau	Mau	Bom	Mau	0
7	Mau	Mau	Mau	Mau	Mau	Bom	1
8	Bom	Bom	Mau	Mau	Mau	Mau	2
9	Bom	Mau	Bom	Mau	Mau	Mau	2
...	...	...	...	...	...	...	...
55	Bom	Bom	Mau	Mau	Bom	Bom	6
...	...	...	...	...	...	...	...
64	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	10

**Tabela 5: Parte da Matriz de Interações**

Na prática, a questão colocada aos decisores, neste caso, foi a seguinte: “*De que modo é que avaliam um cenário hipotético de uma smart city, onde apenas se verificam os critérios serviços, planeamento e ambiente, infraestruturas e materiais e tecnologia como bons, em detrimento dos critérios pessoas e transportes e mobilidade que são maus?*”. Dado o resultado, verificou-se uma sobreavaliação da referida combinação de CRTs, uma vez que a pontuação atribuída (*i.e.* 6 pontos) é superior à soma dos valores atribuídos a cada um dos critérios individualmente (*i.e.*  $0+1+0+1=2$ ) (ver *Apêndice I*) representando uma situação acima do comum. Tal efeito pode ser justificado pela sinergia resultante da combinação destes quatro CRTs para uma *smart city* (*i.e.* *Serviços; Planeamento e Ambiente; Infraestruturas e Materiais; e Tecnologia*).

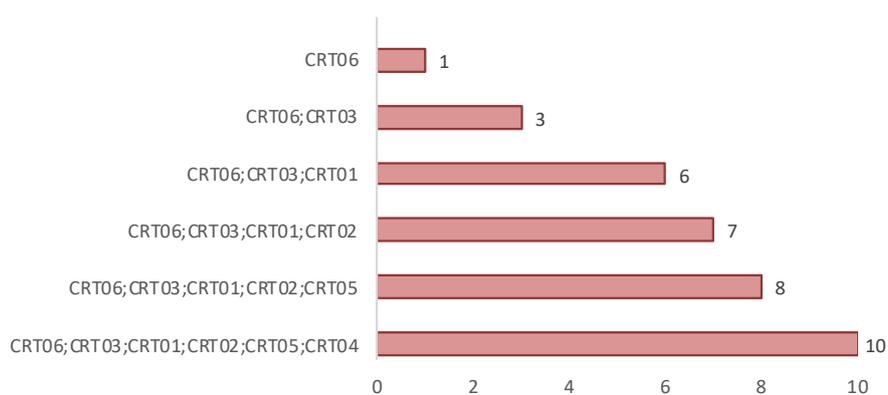
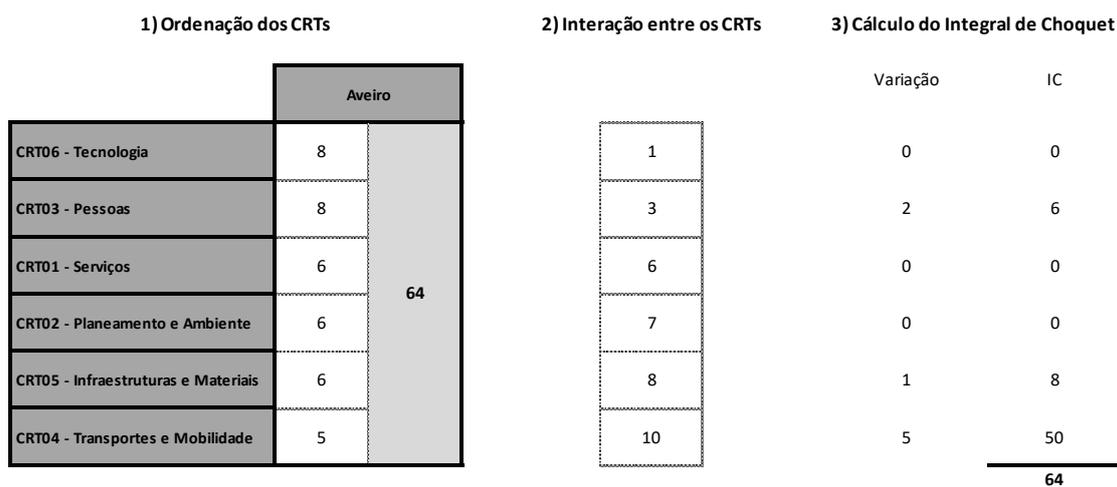
Avaliadas as 64 combinações possíveis, assim como determinadas as diferentes interações entre os CRTs, foi solicitado aos decisores que, ainda em grupo, pontuassem numa escala nominal de 0 a 10 pontos (*i.e.* onde o valor 0 corresponde a uma situação totalmente indesejável e o valor 10 a uma situação extremamente atrativa), cada uma das capitais de distrito de Portugal Continental e Arquipélagos da Madeira e dos Açores nos CRTs identificados. A *Figura 8* ilustra o momento da discussão da avaliação dessas alternativas.



**Figura 8: Avaliação de *Smart Cities***

Concluída a discussão, procedeu-se ao cálculo do IC para cada uma das vinte alternativas em análise. As *Figuras 9* à *28* apresentam o cálculo do IC para as alternativas em estudo.

Começando por Aveiro, verifica-se que obteve em todos os CRTs uma pontuação superior ou igual a 5, o que significa que Aveiro é vista como próxima de uma situação atrativa, nomeadamente no que respeita ao CRT06 – *Tecnologia* – e ao CRT03 – *Pessoas*, ambos pontuados com 8. Por outro lado, o painel de decisores considerou que, ao nível do CRT04 – *Transportes e Mobilidade* – Aveiro se encontra numa situação comum, tendo por essa razão recebido 5 pontos nesse critério. Após análise das interações na representação gráfica do cálculo do IC, é de salientar que, quando adicionado o CRT01 – *Serviços* – aos dois CRTs com maior pontuação (*i.e. Tecnologia e Pessoas*), o valor acumulado duplicou, passando de 3 para 6. Face ao exposto, o resultado da aplicação do IC é de 64 pontos (ver *Figura 9*).



**Figura 9: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Aveiro**

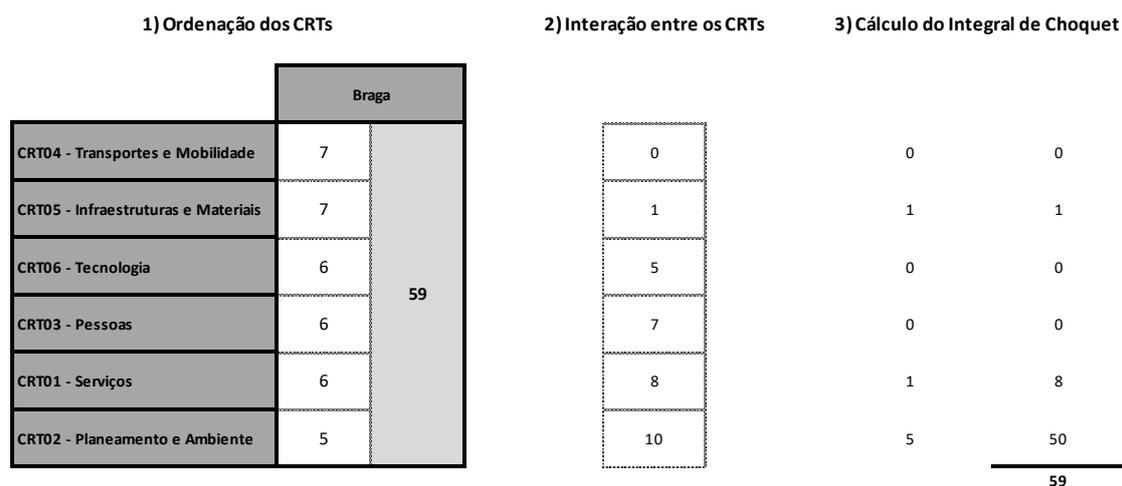
O procedimento utilizado para Beja foi similar ao utilizado para Aveiro. Com efeito, verifica-se que obteve uma pontuação igual ou superior a 5 na grande maioria dos CRTs, excetuando no CRT01 – *Serviços* –, no qual Beja se encontra abaixo do que é comum, tendo obtido uma pontuação de 4 valores. Como podemos ver, em ambas as capitais (Aveiro e Beja), o CRT03 – *Pessoas* – é tido em conta como uns dos critérios que apresenta maior atratividade, sendo atribuído a Beja 7 valores. Com a aplicação do IC obteve-se uma classificação de 53 pontos (ver *Figura 10*).

	Beja				
CRT03 - Pessoas	7	53	0	1	0
CRT04 - Transportes e Mobilidade	6		2	0	0
CRT05 - Infraestruturas e Materiais	6		4	1	4
CRT02 - Planeamento e Ambiente	5		6	0	0
CRT06 - Tecnologia	5		9	1	9
CRT01 - Serviços	4		10	4	40
					<hr/> 53



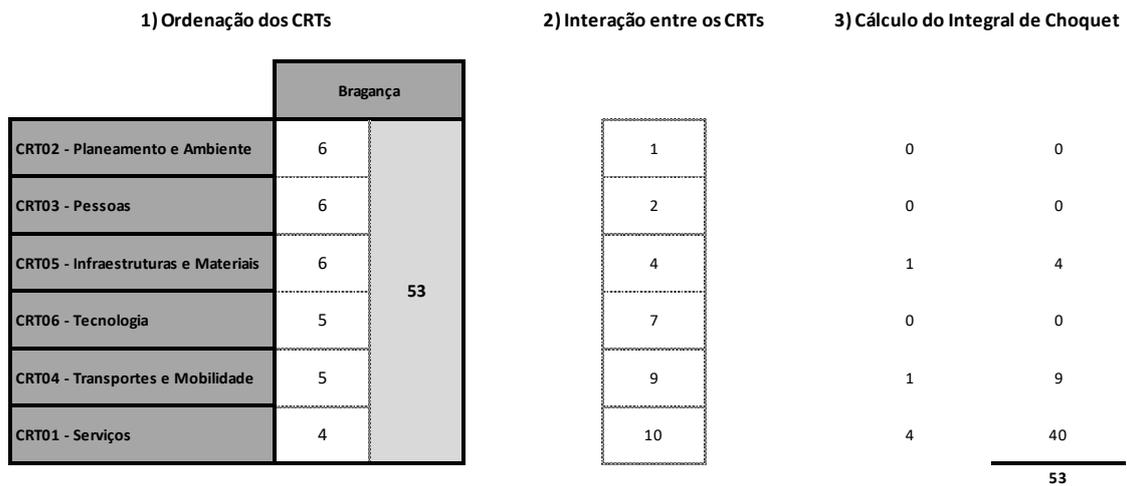
**Figura 10: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Beja**

De seguida, procedeu-se ao cálculo do IC para a cidade de Braga, podendo afirmar-se que, para os decisores, critérios como *Transportes e Mobilidade*, bem como *Infraestruturas e Materiais*, em comparação com os outros distritos já avaliados, se destacaram, sendo atribuídas classificações de 7 valores. Todavia, quando analisados de forma isolada, estes critérios são considerados menos expressivos. O resultado do IC para Braga fez uma pontuação total de 59 pontos (ver *Figura 11*).



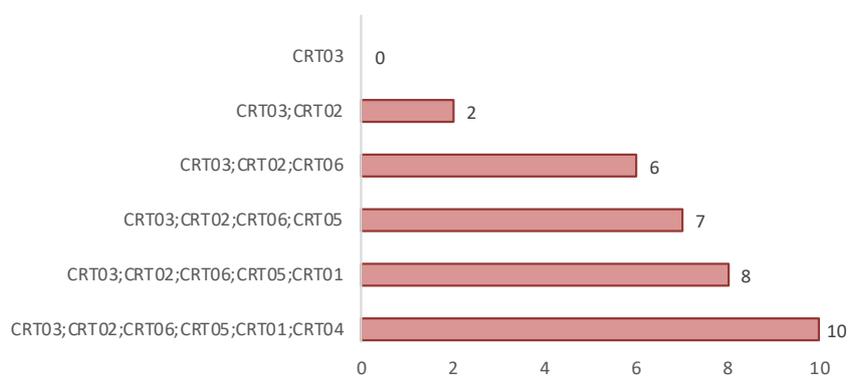
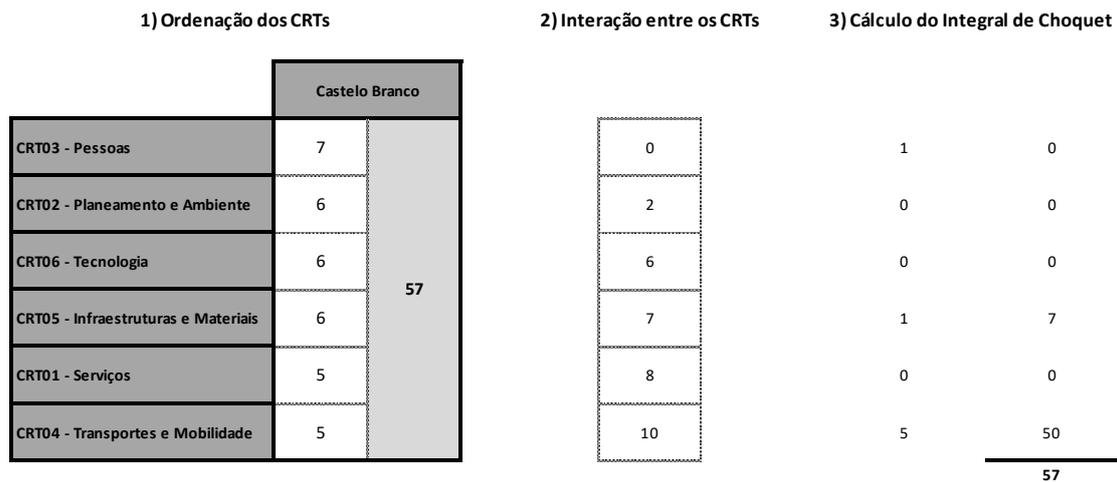
**Figura 11: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Braga**

Face ao exposto, verifica-se que o CRT02 – *Planeamento e Ambiente* – é aquele que, segundo o painel de decisores, se evidencia como o mais relevante no caso de Bragança, algo que os levou a atribuir 6 pontos. Todavia, esta situação pode parecer paradoxal, uma vez que, quando questionados sobre: “*De que modo é que avaliam um cenário hipotético de uma smart city, onde apenas se verifica o critério planeamento e ambiente como bom, em detrimentos dos restantes como maus?*”, o painel considerou que, para tal situação, o CRT02 – *planeamento e ambiente* – deveria ser classificado com apenas 1 ponto. Tal situação pode ser explicada pelo facto dos decisores darem mais importância a determinados critérios até se depararem com uma situação em que se apercebem da sua devida importância na interação entre CRTs na obtenção de um cenário *smart city* extremamente atrativa. A *Figura 12* ilustra o cálculo do IC efetuado para Bragança, podendo ainda afirmar-se que, à semelhança de Beja, também o CRT01 – *serviços* – foi pontuado com 4 pontos. Após a aplicação do cálculo do IC, Bragança obteve um resultado total de 53 pontos.



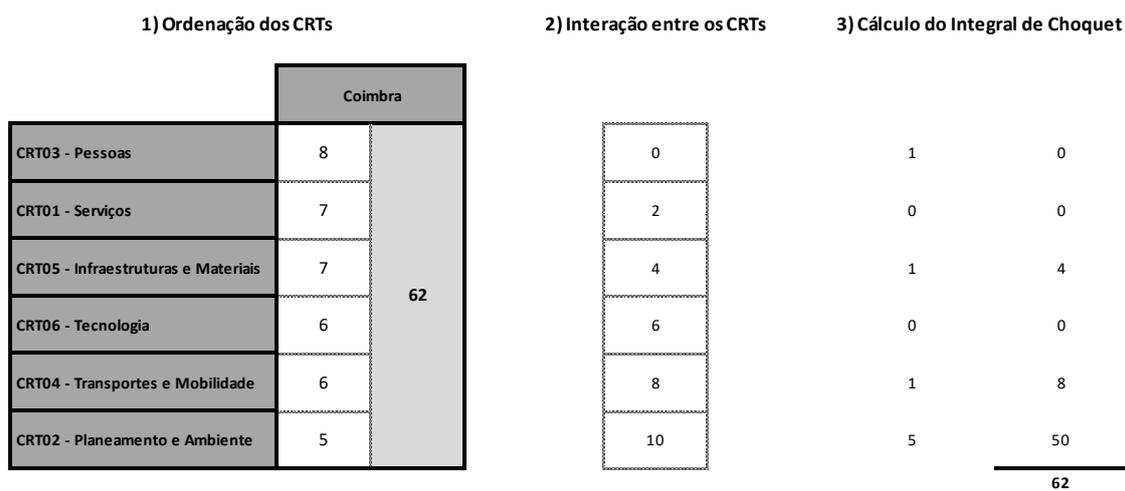
**Figura 12: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Bragança**

Relativamente à *Figura 13*, esta revela a performance parcial de Castelo Branco nos CRTs em estudo. Com base na avaliação parcial nos CRTs, constata-se que critérios como *bem-estar e qualidade de vida, segurança pessoal, participação dos cidadãos nas decisões, igualdade de oportunidades, liberdade de expressão e civismo* (presentes no mapa cognitivo da *Figura 4*), levaram a que o painel de decisores pontuasse Castelo Branco no CRT03 – *Pessoas* – com 7 pontos. O resultado obtido do cálculo do IC foi de 57 pontos.



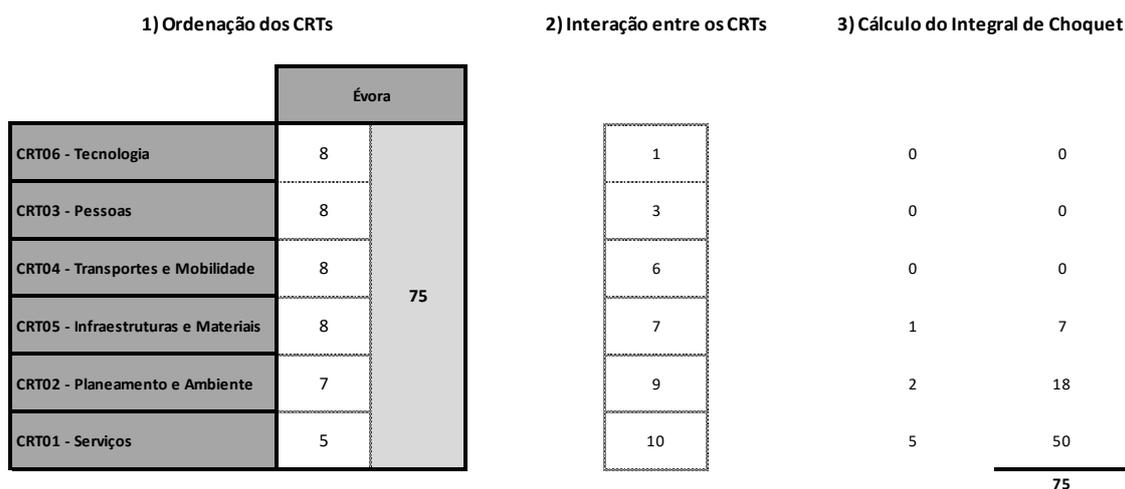
**Figura 13: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Castelo Branco**

O CRT03 – *Pessoas* – é, novamente, aquele que, segundo o painel de decisores, se evidencia como o mais relevante no caso de Coimbra, algo que os levou a atribuir 8 pontos nesta situação. Importa realçar que, quando o painel foi questionado sobre: “*De que modo é que avaliam um cenário de uma smart city, onde apenas se verifica o critério pessoas como bom, em detrimento dos restantes que são maus?*”, atribuiu, para tal situação, zero valores ao CRT03. Esta situação não deixa de ser curiosa, mas reforça a importância das interações entre os CRTs. Após o cálculo do IC, Coimbra obteve a pontuação de 62 pontos (ver *Figura 14*).



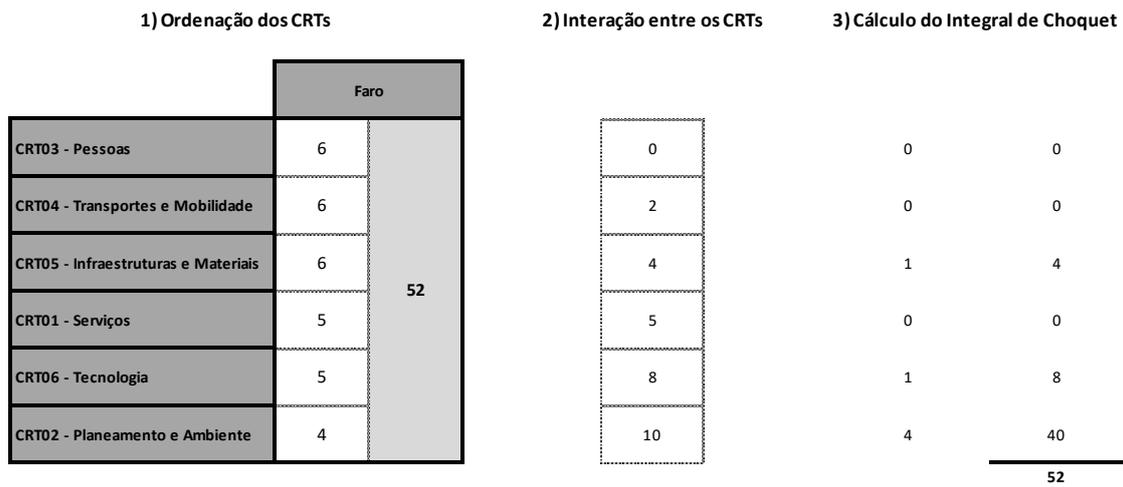
**Figura 14: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Coimbra**

Seguidamente, procedeu-se ao cálculo do IC para Évora, podendo afirmar-se que, para os decisores, esta capital do distrito apresenta características muito próximas de uma *smart city* de topo, na medida em que as suas pontuações nos CRTs em análise são todas iguais ou superiores a 5 e muito próximas de 10, o que fez uma pontuação global de 75 pontos (ver *Figura 15*).



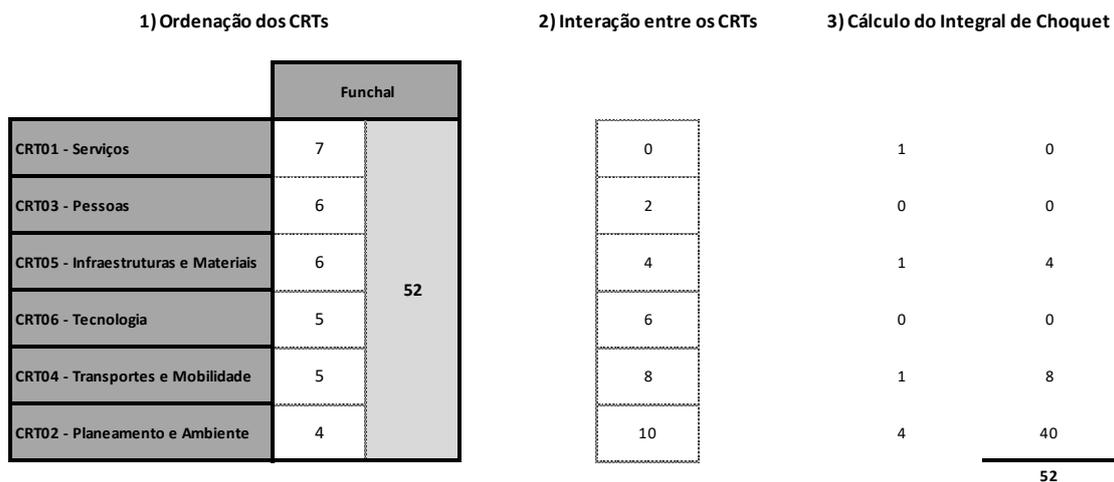
**Figura 15: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Évora**

Como ilustra a *Figura 16*, o painel de decisores considerou que os CRTs que mais aproximavam Faro de uma *smart city* encontravam-se relacionados com os *clusters Pessoas, Transportes e Mobilidade e Infraestruturas e Materiais* (i.e. CRT03, CRT04 e CRT05, respetivamente). Contrariamente, os decisores consideram que critérios inerentes ao CRT02 – *Planeamento e Ambiente* – (e.g. *poder local; revitalização urbana; circularidade de recursos; planeamento urbano (racionalidade na ocupação e uso do solo); recurso a energias renováveis; e sustentabilidade ambiental*) são ainda pouco visíveis e/ou pouco desenvolvidos em Faro. Este distrito alcançou assim um resultado total de 52 pontos no cálculo do IC.



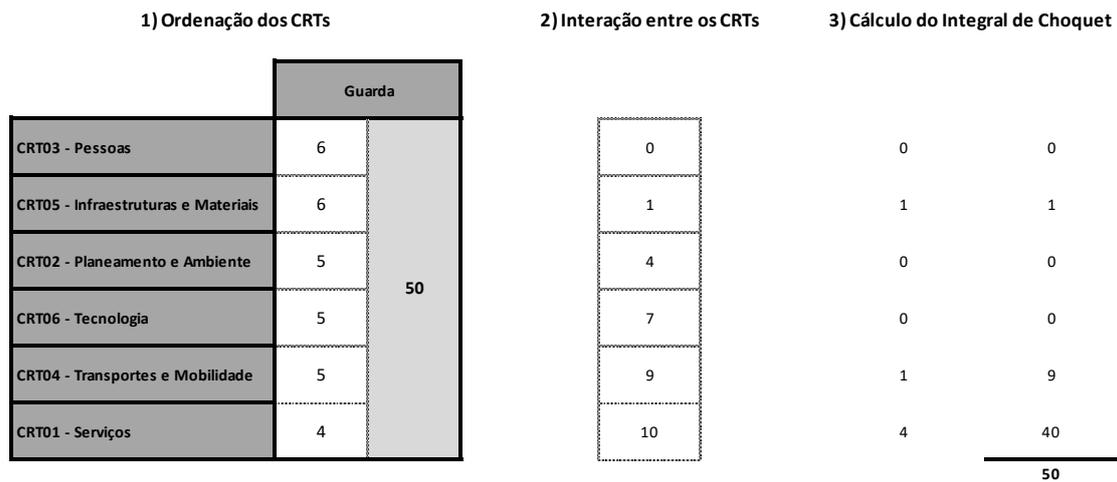
**Figura 16: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Faro**

Conforme mostra a *Figura 17*, o cálculo do IC para o Funchal permitiu obter um resultado de 52 pontos. Com efeito, constata-se que, segundo a perceção dos decisores, Funchal equipara-se a um cenário comum de uma *smart city*.



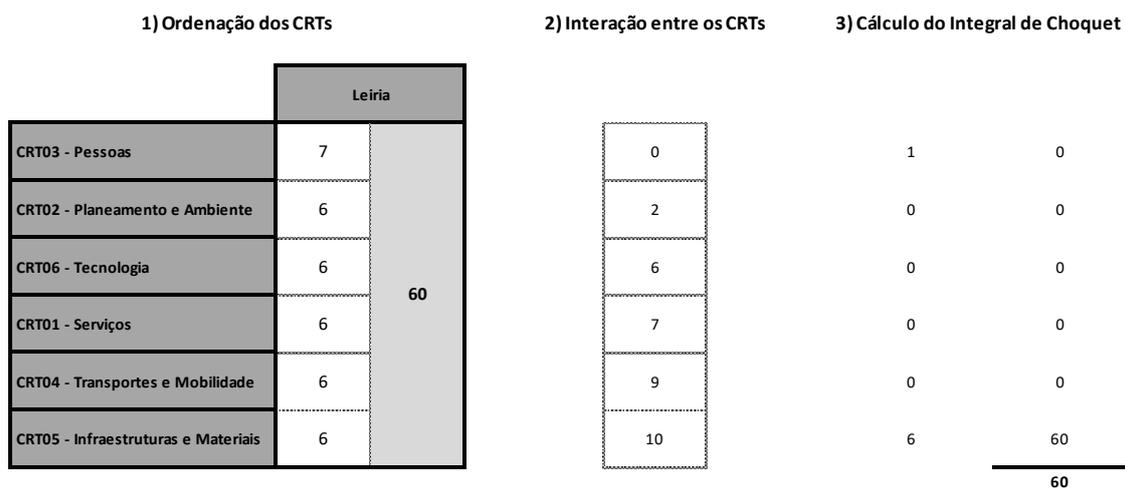
**Figura 17: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Funchal**

Com base na *Figura 18*, verifica-se que Guarda foi pontuada com 6 pontos no CRT03 – *Pessoas* – e no CRT05 – *Infraestruturas e Materiais* –. Todavia, os decisores consideraram que ainda existem questões a melhorar, nomeadamente no que respeita ao CRT01 – *Serviços* (e.g. *respostas sociais de proximidade; facilidade de acesso aos serviços; privacidade dos dados; e facilidade de acesso às escolas*). O cálculo do IC para Guarda deu um resultado de 50 pontos.



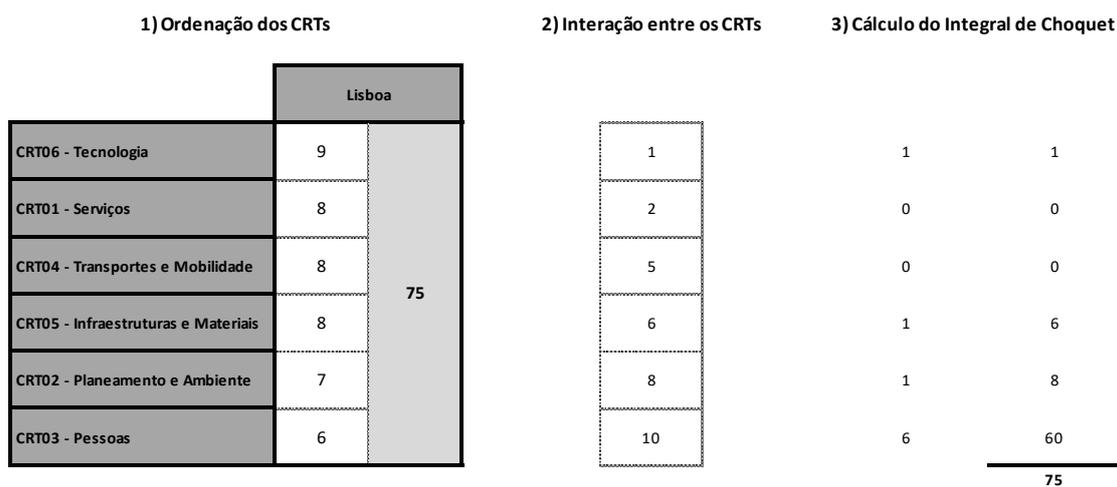
**Figura 18: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Guarda**

Como revela a *Figura 19*, o resultado do cálculo do IC para Leiria foi de 60 pontos. Segundo o painel de decisores, Leiria caracteriza-se como uma situação próxima de uma *smart city* atrativa, com valores superiores aos 5 pontos. Ainda conforme a *Figura 19*, verifica-se uma evolução uniforme das interações resultantes entre os seis CRTs (*i.e.* *Pessoas*; *Infraestruturas e Materiais*; *Planeamento e Ambiente*; *Tecnologia*; *Transportes e Mobilidade*; e *Serviços*), excetuando quando o CRT06 – *Tecnologia* – é conjugado com o CRT03 e o CRT02 (*i.e.* *Pessoas*; e *Planeamento e Ambiente*, respetivamente), que promoveu um aumento de 2 para 6 valores, revelando, novamente, as interações que podem resultar entre os CRTs na avaliação de uma *smart city*.



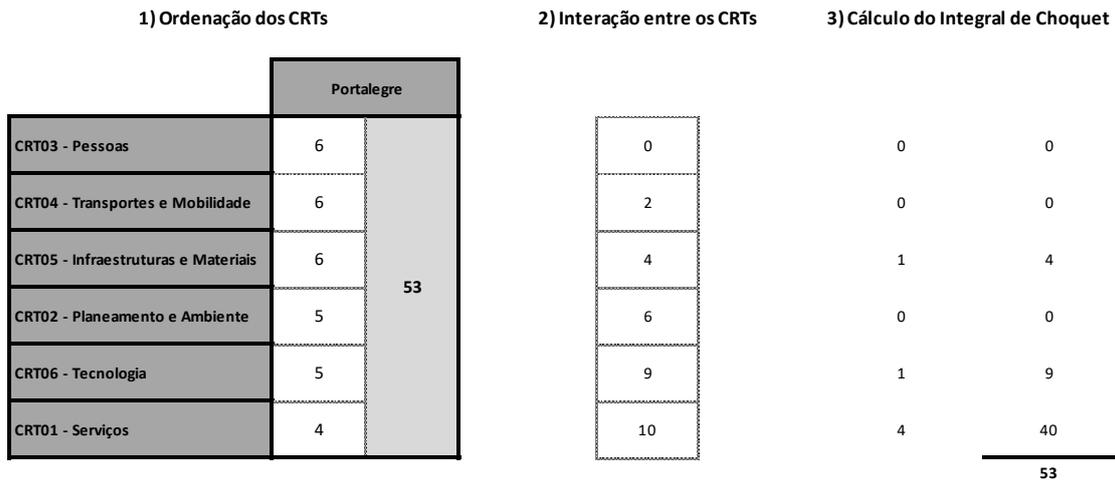
**Figura 19: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Leiria**

À semelhança de Évora, Lisboa apresenta características muito próximas de um cenário de uma *smart city* de topo, perfazendo uma pontuação de 75 pontos (ver *Figura 20*). Através da perceção do painel de decisores, esta capital de distrito foi aquela que obteve a pontuação mais elevada no CRT06 – *Tecnologia* – com 9 valores.



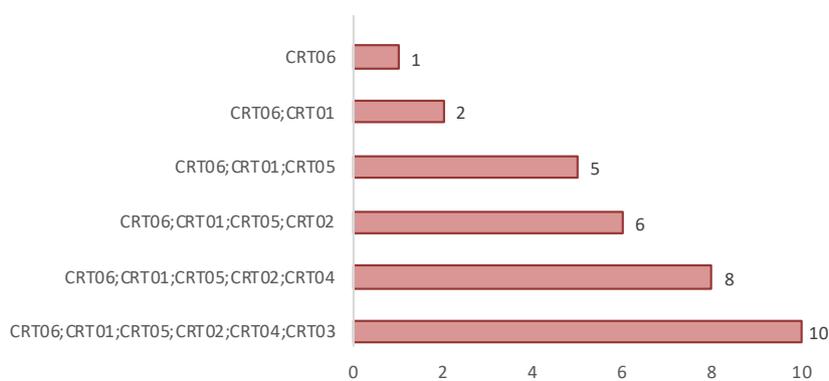
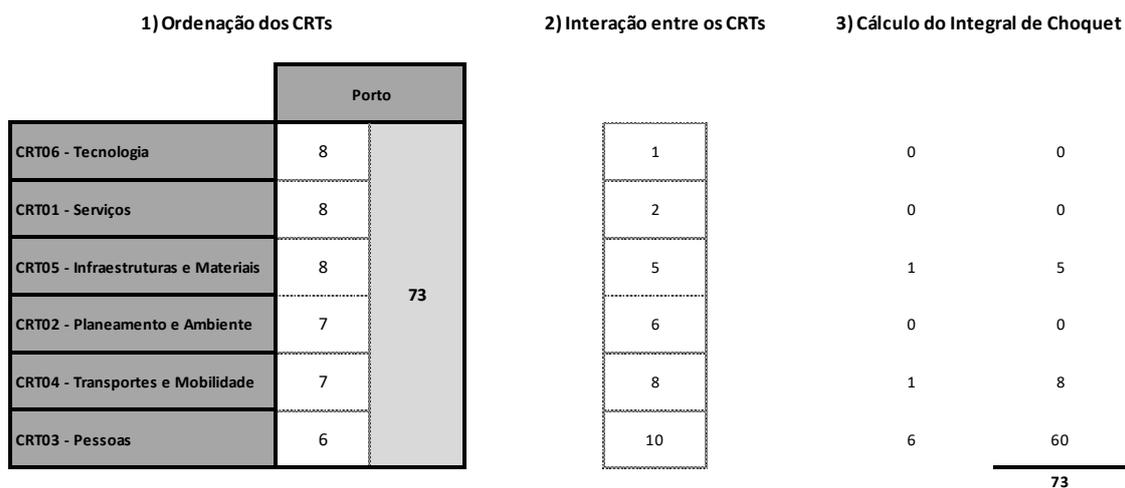
**Figura 20: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Lisboa**

Através da *Figura 21*, verifica-se, para Portalegre, uma evolução uniforme das interações resultantes entre os primeiros quatro CRTs (*i.e. Pessoas; Transportes e Mobilidade; Infraestruturas e Materiais; e Planeamento e Ambiente*). Contudo, ao correlacionar estes CRTs com o CRT06 – *Tecnologia* –, torna-se visível uma sinergia positiva, na medida em que passa de um valor acumulado de 6 pontos para 9 pontos. O cálculo do IC para Portalegre resultou em 53 pontos.



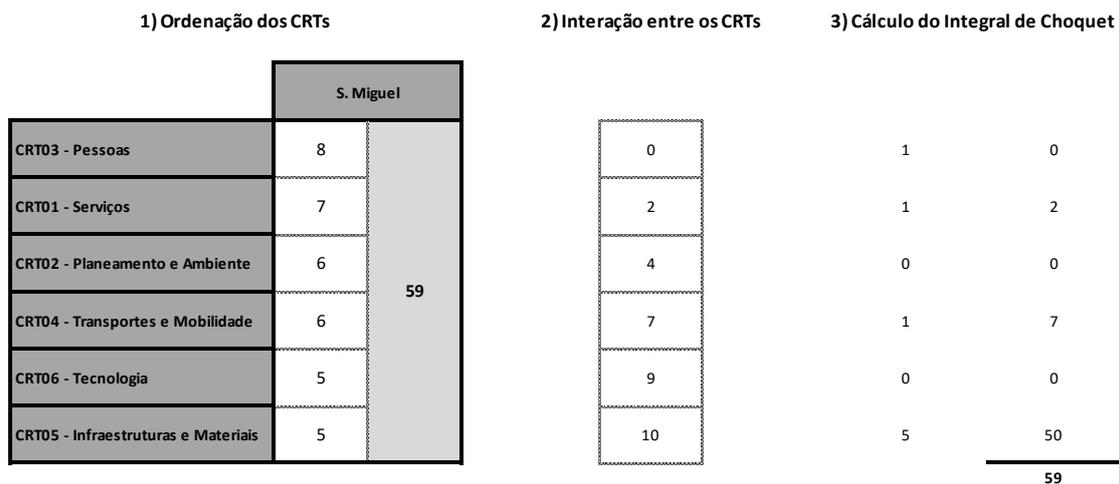
**Figura 21: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Portalegre**

Dando foco ao Porto, este distrito revela um crescimento uniforme, em função das sinergias criadas entre os vários CRTs. Através da análise da *Figura 22*, constata-se que, à semelhança de Lisboa, foram atribuídos 8 pontos ao Porto no CRT01 – *Serviços* – e no CRT05 – *Infraestruturas e Materiais*. Em contrapartida, o CRT em que o Porto obteve menor pontuação foi o CRT03 – *Pessoas* –, com apenas 6 pontos, devendo ser um critério a melhorar. Com a aplicação do cálculo do IC, o Porto obteve uma classificação de 73 pontos.



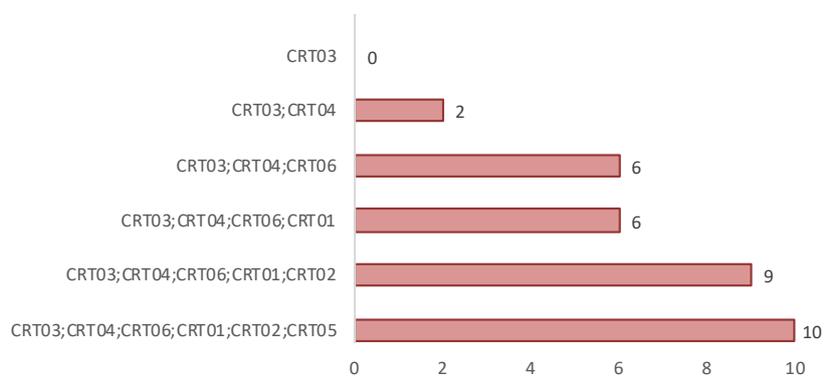
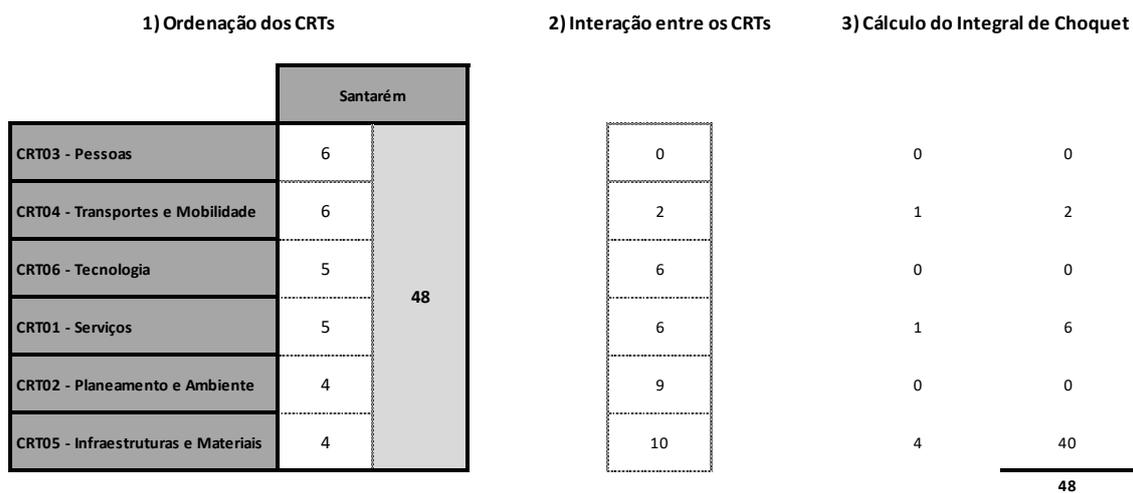
**Figura 22: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para o Porto**

À semelhança de Braga, S. Miguel obteve um resultado de 59 pontos (ver *Figura 23*). Embora apresentem a mesma classificação final, o painel de decisores expôs os seus pontos de vista de forma diferente para cada uma destes distritos, tal como é possível verificar na ordenação dos CRTs.



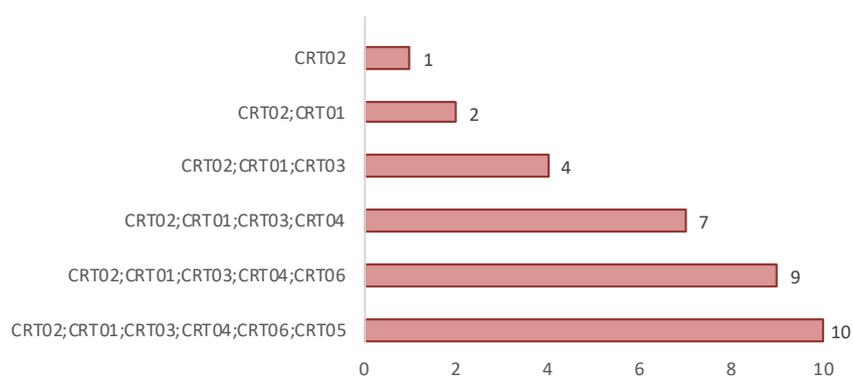
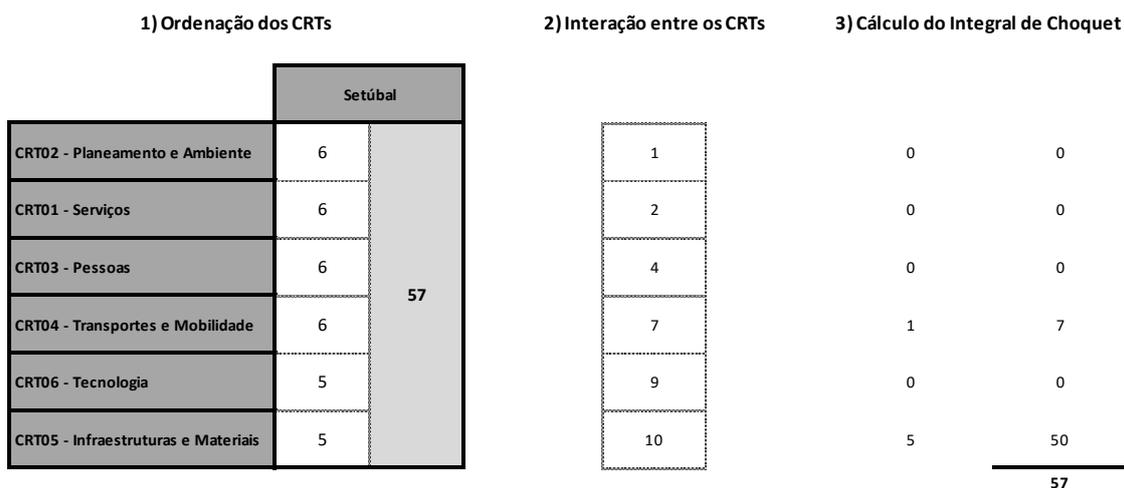
**Figura 23: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para S. Miguel**

Contrariamente a Lisboa e a Évora, que se apresentam como as mais próximas de um cenário ideal de uma *smart city*, alcançando 75 pontos cada uma, Santarém encontra-se, segundo o ponto de vista dos decisores, na situação mais afastada e indesejável (ver *Figura 24*). Este facto é justificado pela sua classificação final de 48 pontos e que resulta pelo facto de dois dos seis critérios principais estarem abaixo dos 5 pontos (*i.e. Planeamento e Ambiente; e Infraestruturas e Materiais*).



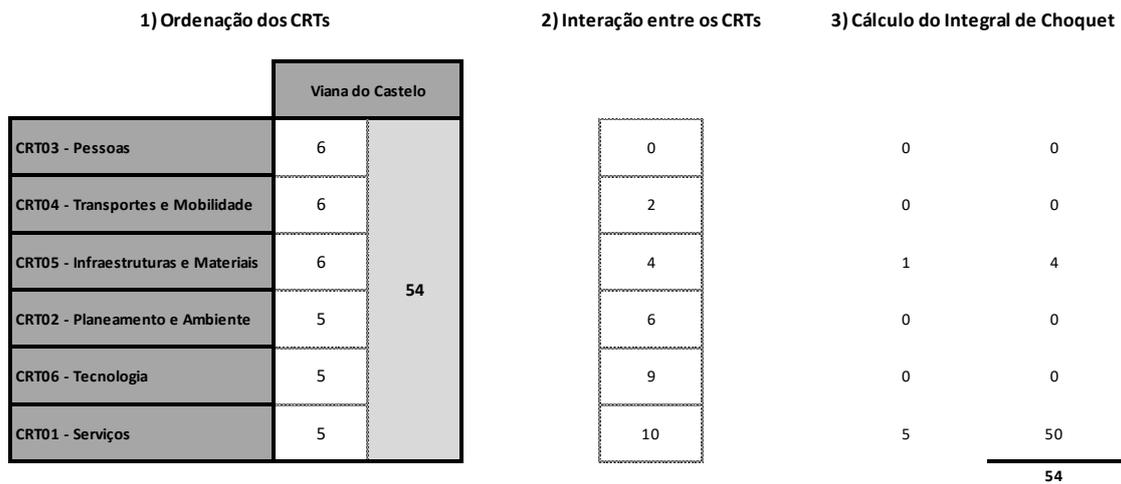
**Figura 24: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Santarém**

Conforme ilustra a *Figura 25*, uma vez feita a classificação de Setúbal nos vários CRTs, o cálculo do IC originou um resultado de 57 pontos. Com efeito, segundo a perceção coletiva dos decisores, Setúbal é das capitais de distritos que se encontra num cenário “comum” de *smart city*.



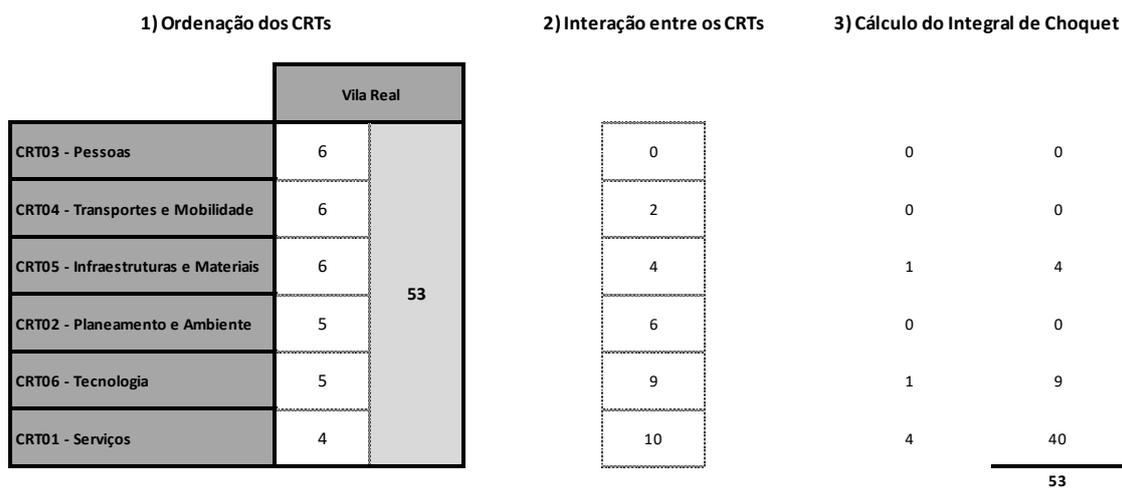
**Figura 25: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Setúbal**

A exemplo de Beja, Castelo Branco, Coimbra, Faro, Guarda, Leiria, Portalegre, Santarém e S. Miguel, Viana do Castelo revela a pontuação mais elevada no CRT03 – *Pessoas* –, tendo-lhe sido atribuída, neste caso específico, uma pontuação de 6 pontos. Para além deste CRT, o CRT04 – *Transportes e Mobilidade* – e o CRT05 – *Infraestruturas e Materiais* – foram também classificados com a mesma pontuação (*i.e.* 6 pontos). Os restantes CRTs encontram-se num cenário de *smart city* comum, com 5 pontos. Concluído o cálculo do IC, Viana do Castelo fez 54 pontos (*Figura 26*).



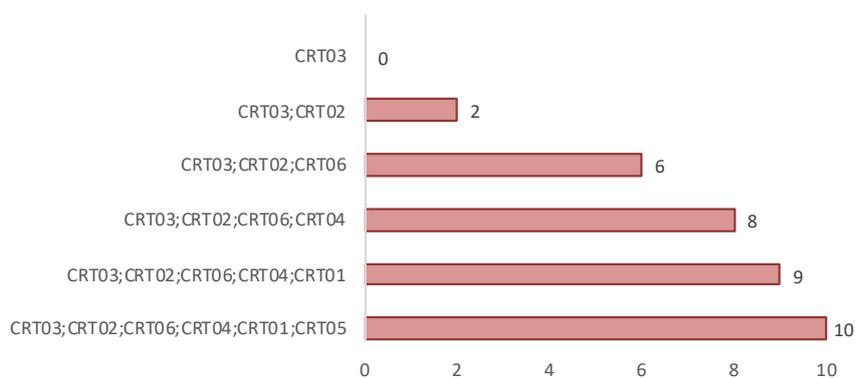
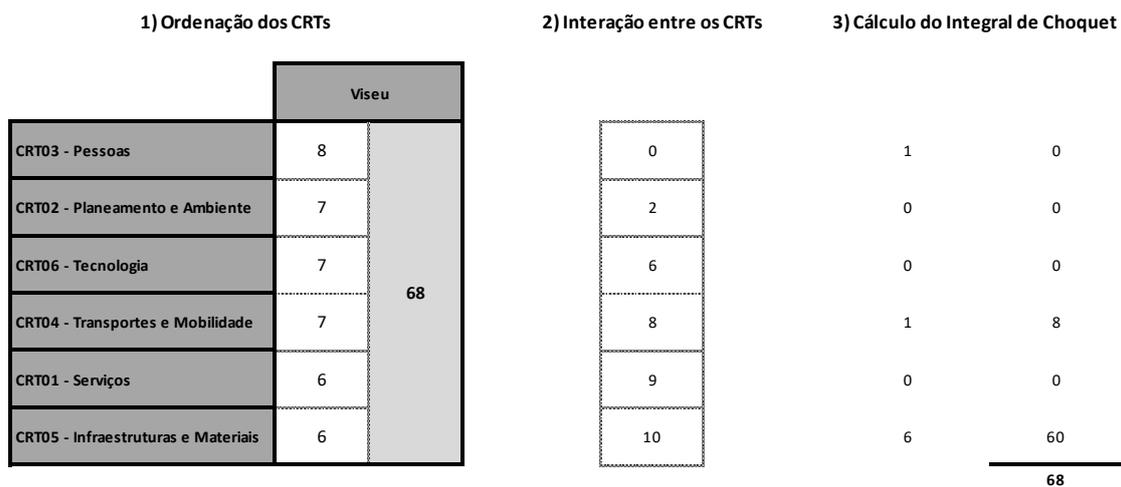
**Figura 26: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Viana do Castelo**

Focando-se em Vila Real, o painel de decisores determinou que, à semelhança de Portalegre e Beja, os *clusters Tecnologia* e *Serviços* (i.e. CRT06 e CRT01, respetivamente) realçam pontuações abaixo de um cenário “comum” de uma *smart city*, com apenas 5 e 4 pontos, respetivamente. Neste caso, segundo a *Figura 27*, o cálculo do IC resultou em 53 pontos.



**Figura 27: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para o Vila Real**

Tal como no caso do Porto, Viseu encontra-se num cenário muito próximo de uma *smart city* atrativa, uma vez que apresenta valores superiores a 5 e próximos de 10. Através da análise da *Figura 28*, torna-se visível que, para os decisores, o CRT03 – *Pessoas* – e o CRT02 – *Planeamento e Ambiente* – apresentam pontuações elevadas (*i.e.* 8 e 7 pontos, respetivamente). Além disso, quando correlacionados com o CRT06 – *Tecnologia* –, estes critérios revelam uma interação positiva, na medida em que a pontuação atribuída (*i.e.* 6 pontos) é superior à soma de cada um dos critérios separadamente, como consta no *Apêndice I*. O resultado da aplicação do IC para Viseu foi de 68 pontos.

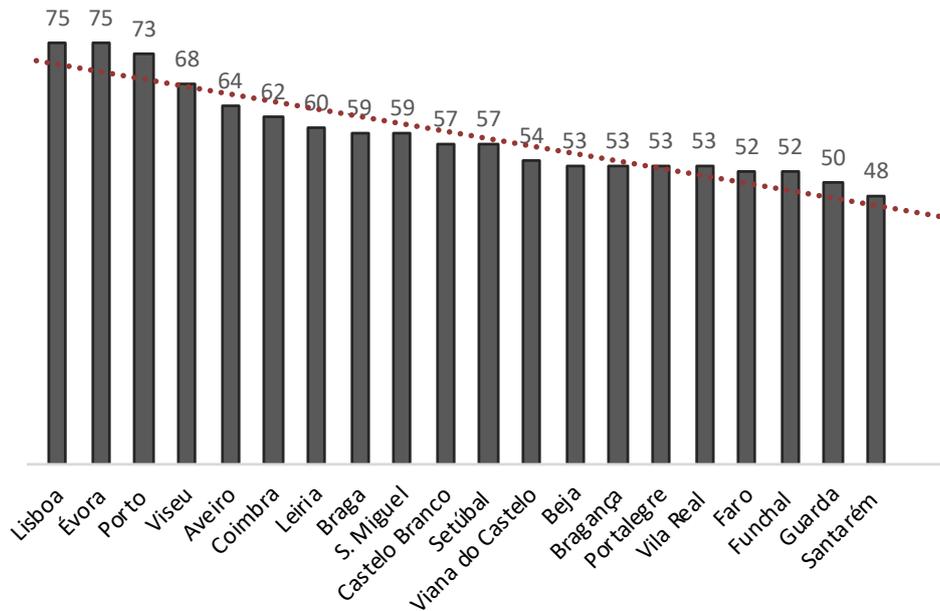


**Figura 28: Performance Parcial e Representação Gráfica do Cálculo do IC para Viseu**

Posto isto, é possível concluir que a aplicação prática do IC permite a análise individual de cada uma das alternativas em estudo, capacitando a identificação dos CRTs a melhorar. Face aos resultados das alternativas avaliadas, constata-se a necessidade de melhorias significativas ao nível de determinados CRTs (*i.e.* *Serviços*; *Transporte e Mobilidade*; e *Infraestruturas e Materiais*), na medida em que estes remetem para os CRTs menos pontuados na maioria das capitais de distrito avaliadas. Por outro lado, foi evidenciado o impacto do CRT06 – *Tecnologia* – quando correlacionado com outros CRTs, ocorrendo sempre interações positivas. Após aplicação do IC, foi possível criar um *ranking* das várias alternativas analisadas.

#### 4.4. Ranking de Smart Cities

Através da aplicação do IC na presente dissertação, foi possível criar um *ranking* de alternativas (*i.e. smart cities*). A *Figura 29* mostra a ordenação final obtida, a qual foi analisada e validada por parte do painel de decisores.



**Figura 29: Ranking de Alternativas Referentes ao Modelo**

Como ilustra a *Figura 29*, segundo a percepção coletiva dos decisores, as alternativas com maior classificação são Lisboa e Évora, com 75 pontos cada. Seguidamente, surge o Porto, com 73 pontos; e Viseu, com 68, evidenciando também um cenário atrativo de *smart city*. De seguida, surge Aveiro com 64 pontos, Coimbra com 62 pontos e, ainda, Leiria com 60 pontos. A classificação mais baixa pertence a Santarém, que totalizou 48 pontos e apresentou o cenário mais afastado de uma *smart city*. Através da obtenção deste *ranking*, deu-se por concluída a *fase de avaliação*. O passo seguinte passou pela realização de uma sessão de validação dos resultados e do sistema de avaliação desenvolvido.

#### 4.5. Validação e Recomendações

Concluída a fase de avaliação, realizou-se uma última sessão de validação com o objetivo de verificar a aplicabilidade e o impacto prático do sistema de avaliação criado. Esta sessão de trabalho contou com a colaboração do Dr. Eduardo Silva, representante do Departamento de Ambiente e Energia da Câmara Municipal de Lisboa, através da Associação Lisboa E-Nova, responsável por projetos no âmbito da temática em estudo a nível internacional, detentor de conhecimento especializado e considerado um elemento neutro no processo, dado que não participou em nenhuma das sessões anteriormente desenvolvidas.

A sessão realizou-se na sede da Lisboa E-Nova, em Lisboa, teve uma duração aproximada de uma hora e foi estruturada de acordo com os seguintes objetivos: (1) contextualização das metodologias de trabalho utilizadas e as suas respetivas vantagens para o processo de avaliação de *smart city*; (2) análise de melhorias possíveis do problema em estudo através do *feedback* e *know-how* deste elemento; (3) discussão dos resultados obtidos; (4) identificação de vantagens do modelo face a outros projetos de avaliação existentes; e (5) análise da aplicabilidade prática do sistema de avaliação criado, com discussão de recomendações para eventual implementação futura.

A sessão teve início com um breve enquadramento da metodologia em estudo, passando-se, de seguida, à análise do mapa cognitivo coletivo e, por fim, à análise da matriz de interações entre os CRTs dos diferentes distritos. A *Figura 30* ilustra alguns momentos desta sessão.



**Figura 30: Análise do Mapa Cognitivo Coletivo e da Matriz de Interações**

De seguida, passou-se para uma fase de comentários do Dr. Eduardo Silva relativamente aos resultados alcançados (ver *Figura 31*).



**Figura 31: Comentários dos Resultados Alcançados**

Com o decorrer desta etapa, evidenciou-se a dependência dos resultados do contexto e do painel de participantes, algo que já havia sido antecipado, uma vez que o sistema de avaliação construído é construtivista e baseia-se no ponto de vista e na experiência dos participantes envolvidos. Ainda assim, o Dr. Eduardo Silva referiu que *“atribuiria as mesmas as pontuações ou ponderaria algo muito semelhante”* (nas suas próprias palavras), estando assim de acordo com os resultados alcançados.

A discussão prosseguiu para a natureza processual do estudo, tendo sido explicado que, tratando-se de uma abordagem processual, os resultados poderiam variar se houvesse alteração no grupo de decisores. Mesmo assim, a possibilidade de reajustes no sistema estaria sempre em aberto, algo que reforçou a grande flexibilidade das técnicas utilizadas.

O Dr. Eduardo Silva listou várias vantagens em relação à metodologia aplicada relativamente às práticas correntes de avaliação de *smart cities*, nomeadamente: (1) o facto de a metodologia buscar uma solução que parte das pessoas envolvidas; (2) o

processo em si, que fomenta interesse e envolvimento dos envolvidos através da partilha de *know-how* e de experiências tanto pessoais como profissionais; (3) a flexibilidade de reajustamento dos resultados obtidos, devido à lógica construtivista; (4) a conjugação de critérios quantificáveis com não-quantificáveis; e (5) a maior especificidade e foco na realidade atual das *smart cities* face aos modelos já desenvolvidos.

Quanto às recomendações, o Dr. Eduardo Silva realçou a necessidade de uma nova análise, em modo de complemento aos resultados obtidos, com um novo painel de especialistas que não fossem oriundos apenas do distrito de Lisboa. Através da experiência e *know-how* do Dr. Eduardo Silva, foi referido que, pessoalmente, “*não faria quaisquer alterações ao modelo criado, estando pronto a ser aplicado*” (nas suas palavras). A este propósito, o que poderia dificultar a sua aplicação prática seria passar este modelo às pessoas, sendo possivelmente necessário uma divulgação prévia da temática *smart city*.

Em modo de conclusão, foi com satisfação que se deu por concluída a sessão de validação, onde foi elogiado todo o processo realizado e o *ranking* obtido.

## ***SINOPSE DO CAPÍTULO 4***

O presente capítulo destinou-se à componente empírica da presente dissertação. Foi inicialmente abordada a *fase de estruturação* do problema de decisão. Esta fase é muito importante em todo o processo de apoio à tomada de decisão, pois visa a construção de um modelo que possa servir de base à aprendizagem, comunicação e à discussão interativa com e entre os envolvidos. Para tal, procedeu-se à definição do problema em análise, sendo lançada, na sessão de grupo, a seguinte *trigger question*: “*Com base nos seus valores e experiência profissional, quais os fatores e as características da melhor Smart City?*”. Uma vez anunciada a questão base, deu-se início à discussão entre o grupo de decisores, suportada na aplicação da “*técnica dos post-its*”. Esta técnica requer que os decisores escrevam em *post-its* o que consideram ser os critérios mais importantes para dar resposta à *trigger question*, sendo possível identificar e hierarquizar os critérios mais importantes do problema em estudo. Posto isto, foi possível obter um mapa cognitivo coletivo com as diferentes relações de causalidade entre os diferentes *clusters*, ao qual se seguiu a construção de uma estrutura arborescente (ou árvore de critérios). Após a obtenção destes dois instrumentos, procedeu-se à *fase de avaliação*, com a aplicação do IC. Nesta fase, realizou-se uma segunda sessão de grupo onde foi preenchida, pelos decisores, uma matriz com as 64 combinações possíveis em torno dos 6 CRTs definidos na sessão anterior. Os decisores procederam à avaliação das combinações desta matriz numa escala de 0 a 10 pontos e após a sua conclusão foi-lhes pedido que avaliassem as capitais de distrito de Portugal Continental e dos Arquipélagos da Madeira e dos Açores. Este procedimento capacitou o cálculo do IC e a respetiva representação gráfica de cada umas das vinte alternativas em análise. Posto isto, foi possível criar um *ranking* de alternativas, sendo que os distritos mais pontuados foram Lisboa e Évora com 75 pontos; enquanto o menos pontuado foi Santarém, com 48 pontos. Concluída esta fase, foi ainda realizada uma última sessão, com o intuito de validar os resultados alcançados com um elemento que não participou nas anteriores sessões. Nesta sessão, foi comparado o modelo desenvolvido face às práticas de avaliação existentes, indagando-se sobre uma eventual aplicabilidade prática do sistema de avaliação desenvolvido. Com base nas técnicas e métodos utilizados, foi possível criar um índice de avaliação multicritério coerente, transparente e com forte aplicabilidade no âmbito da avaliação das *smart cities*.

Concluída a componente empírica da presente dissertação, este último capítulo destina-se à apresentação das principais conclusões do estudo desenvolvido. Para o efeito, são apresentados os principais resultados alcançados e as limitações do estudo, ao que se segue uma síntese das implicações práticas do sistema desenvolvido para a área da gestão. Por fim, será ainda feita uma breve exposição de recomendações para futura investigação.

#### 5.1. Principais Resultados e Limitações

A realização do presente estudo permitiu atingir o principal objetivo previamente estabelecido, *i.e. desenvolver um sistema de avaliação de smart cities com recurso à abordagem MCDA*. Este sistema de avaliação remete para um método inovador, na medida em que, até ao momento, não existem evidências da combinação de técnicas de mapeamento cognitivo com o IC para o propósito apresentado.

Para que tal objetivo fosse cumprido, a presente dissertação foi dividida em duas partes, sendo ambas pautadas por uma lógica epistemológica construtivista. Desta forma, numa primeira parte – enquadramento teórico e metodológico (*Capítulos 2 e 3*) –, foi analisado o conceito de *smart cities*, tornando-se visível que estas cidades remetem para a analogia de serem o “coração” de uma sociedade dinâmica, dado que as cidades, em todo o mundo, estão constantemente num fluxo contínuo e exibem dinâmicas complexas e sempre em constante mutação. Perante o aumento significativo da densidade populacional nos centros urbanos, sentiu-se a necessidade de criar sistemas mais complexos que possam lidar com todo o abastecimento de água e alimentar, com o tratamento de resíduos, com os sistemas de tráfego urbano e com a própria capacitação da cidade, sempre a pensar na qualidade e no bem-estar de todos os cidadãos e sem prejudicar o futuro do planeta. Para o efeito, são vários os estudos desenvolvidos até à data sobre esta temática. Contudo, com base na análise de alguns desses modelos de avaliação, foi possível apurar a existência de limitações metodológicas que evidenciam

a necessidade de melhoria desses mesmos modelos. É importante realçar que proceder à avaliação de *smart cities* é um exercício de elevada complexidade devido ao diversificado número de critérios a ter em conta. Para colmatar esta situação, revelou-se pertinente a aplicação integrada de técnicas de mapeamento cognitivo com o IC, na medida em que potenciam soluções muito próximas ao contexto real, coerentes e transparentes, no processo de avaliação das *smart cities*. Ainda nesta componente, o *Capítulo 3* apresenta as diferentes abordagens existentes para o apoio à decisão, com foco na abordagem MCDA como corrente *soft* da OR. A MCDA foca-se na integração de elementos objetivos e subjetivos, tendo como principal objetivo a construção de algo que, por definição, não pré-exista, tornando-se numa forte aliada na simplificação e na transparência do processo de avaliação de *smart cities*. Neste sentido, foi dada atenção aos mapas cognitivos como ferramenta associada ao método SODA, destinando-se estes à representação gráfica de ideias, preferências, objetivos e/ou valores dos decisores envolvidos; e permitindo esquematizar e estruturar o problema em análise. De seguida, apresentaram-se os métodos NAM, dos quais faz parte o IC. Este integral é considerado uma das ferramentas mais poderosas no âmbito da abordagem MCDA, uma vez que permite modelar a interdependência entre critérios. Por fim, procedeu-se ainda ao levantamento de vantagens e limitações do IC, dando-se assim por concluído o enquadramento teórico e metodológico deste estudo.

Numa segunda parte – componente empírica (*Capítulo 4*) – procedeu-se, inicialmente, à definição, estruturação e avaliação do problema de decisão e, numa fase final, à elaboração de recomendações relativas ao sistema de avaliação desenvolvido. Com efeito, estas fases implicaram a realização de duas sessões presenciais com um grupo de especialistas. Na primeira sessão, foi explicada a metodologia a ser aplicada ao painel de decisores, juntamente com alguns exemplos de aplicações práticas da mesma. Terminada a breve apresentação da metodologia, foi pedido ao painel de decisores que exprimissem alguns pontos de vista/juízos de valor em torno do problema em estudo apresentado, com o intuito de se proceder à sua estruturação. Com o recurso a técnicas de cartografia cognitiva, foi construído um mapa cognitivo coletivo, o qual serviu de suporte, na sessão seguinte, ao preenchimento da matriz de interações entre CRTs.

Concluído e validado o sistema de avaliação desenvolvido, foi visível, para o grupo de especialistas, que as metodologias aplicadas na presente dissertação capacitam uma maior transparência e simplicidade em torno de todo o processo de avaliação das *smart cities*, embora reconhecessem que a abordagem seguida não está isenta de

limitações. Nesse sentido, surgiram dificuldades especialmente durante o processo de constituição do painel de decisores, dado que a realização desta investigação implicou um elevado grau de disponibilidade e dedicação dos seus participantes. Durante as sessões de grupo, foram ainda encontradas outras dificuldades, nomeadamente: (1) dificuldade na interpretação da *trigger question*; (2) dificuldade em escrever um único critério por *post-it*; (3) indecisão na alocação dos critérios nos respetivos *clusters*; e (4) hesitação na avaliação dos distritos portugueses. Contudo, apesar das limitações encontradas, foi possível criar um índice de avaliação multicritério coerente, transparente e com forte aplicabilidade no âmbito das *smart cities*.

Em suma, importa salientar que o principal objetivo desta dissertação não passa pela obtenção de soluções ótimas, mas sim pela adoção de novas abordagens que, baseadas na partilha de pontos de vista e juízos de valor entre decisores, permitam a avaliação das *smart cities*. Neste contexto, parece evidente que, para a resolução do problema em estudo, a utilização de técnicas multicritério foi uma mais-valia. De seguida, será feita uma síntese das principais implicações práticas da investigação realizada.

## **5.2. Implicações Práticas para a Gestão**

Através da revisão da literatura, foi possível verificar o potencial de investigação da temática estudada na presente dissertação. O mesmo foi também constatado através da análise de alguns dos estudos realizados até ao momento, em torno da avaliação das *smart cities*. De facto, com a análise desses mesmos estudos, além de ser uma temática relativamente recente, constatou-se ainda que não existem métodos isentos de limitações, abrindo “espaço” a novas abordagens.

Na presente dissertação, a metodologia utilizada recaiu sobre o uso integrado de mapas cognitivos com o IC. Este último representa uma medida de agregação de informação cardinal não-aditiva, capaz de lidar com a interdependência entre critérios de avaliação. Nas sessões em grupo, foi possível verificar o interesse do painel de especialistas na aplicação desta técnica, reforçado com os resultados obtidos. A aplicação do IC capacitou a realização de uma análise mais detalhada dos diferentes perfis de *smart city*, algo que permitiu distinguir, para cada uma das alternativas em estudo, onde se deve investir para que haja melhoria da sua performance. Importa

relembrar, mais uma vez, que um dos principais contributos deste estudo remete para a característica construtivista da abordagem MCDA, a qual assenta na convicção da aprendizagem pela participação.

Este estudo possibilitou o desenvolvimento de um sistema de avaliação *smart city* através do recurso a técnicas multicritério (MCDA) que conjugam o recurso a mapas cognitivos com o IC, permitindo, assim, que o processo de avaliação *smart city* seja simplificado, mais estruturado, transparente e com o propósito de identificar e avaliar as componentes que impulsionam a *smartness* urbana.

É possível afirmar ainda que este sistema vai ao encontro das necessidades atuais tanto do mercado como da continuidade do planeta, uma vez que pretende colmatar parte dos obstáculos urbanos que se têm vindo a notar, como é o caso da rápida urbanização, do aumento exponencial da densidade populacional e da própria escassez dos recursos do planeta. Trata-se, assim, de uma ferramenta poderosa quando aplicada na atualidade das cidades, de fácil compreensão e utilização e que permite a identificação dos pontos fortes e fracos de cada cidade para que, desta forma, possam melhorar a sua posição em termos de sustentabilidade. Este sistema não só é importante para a posição competitiva das cidades, como também para a possibilidade de, entre si, poderem ser comparadas e, posteriormente, capacitar a criação de *best practices* para a criação e desenvolvimento de uma *smart city*. É de realçar ainda a possibilidade de reajustamento em qualquer fase do processo, enfatizando assim a forte adaptabilidade e transparência do sistema criado aos diferentes contextos. No último ponto desta dissertação será feito o levantamento de algumas pistas para futura investigação.

### **5.3. Futura Investigação**

Com base na análise dos resultados obtidos, parece evidente o potencial do uso integrado de mapas cognitivos com o IC no desenvolvimento de sistemas de avaliação contextualizados à realidade e transparentes no âmbito das *smart cities*. Ainda assim, dado que não existem métodos ou abordagens perfeitas, futura investigação passará por: (1) utilização de outras técnicas de avaliação multicritério para a avaliação de *smart cities*, que possibilitem análises de sensibilidade e de robustez como complemento aos resultados obtidos (*e.g. Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH)); (2) comparação entre estudos de avaliação de *smart cities*

com diferentes metodologias, possibilitando a identificação do método que melhor se adapta ao contexto em análise; e (3) desenvolvimento de um *software* que faça uma extração de resultados mais rápida. Cumprido o principal objetivo da presente dissertação, *i.e.* a elaboração de um sistema de avaliação *smart cities* com recurso a técnicas multicritério, poder-se-á afirmar que os resultados alcançados são, de facto, uma mais-valia para os diferentes *stakeholders* interessados em *smart cities*, dada a transparência e o carácter construtivista em torno do sistema desenvolvido, o qual tem sempre adjacente a possibilidade de ajustes e melhorias. Com efeito, qualquer contributo que permita tornar esta investigação mais robusta, será sempre bem-vindo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackermann, F. (2012), Problem structuring methods “in the dock”: Arguing the case for soft OR, *European Journal of Operational Research*, Vol. 219(3), 652-658.
- Ackermann, F. & Eden, C. (2001), SODA – Journey making and mapping in practice, in Rosenhead, J. & J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity, Uncertainty and Conflict*, Chichester, John Wiley & Sons, 43-60.
- Ahvenniemi, H.; Huovila, A.; Pinto-Seppa, I. & Airaksinen, M. (2017), What are the differences between sustainable and smart cities?, *Cities*, Vol. 60(A), 234-245.
- Albino, V.; Berardi, U. & Dangelico, M. (2015), Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives, *Journal of Urban Technology*, Vol. 22(1), 3-21.
- Anthopoulos, L. (2017), Smart utopia VS smart reality: Learning by experience from 10 smart city cases, *Cities*, Vol. 63, 128-148.
- Bana e Costa, C. (1993a), *Três Convicções Fundamentais na Prática de Apoio à Decisão*, Lisboa, CESUR/UTL.
- Bana e Costa, C. (1993b), *Processo de Apoio à Decisão: Actores e Acções, Avaliação de Projectos e Decisão Pública*, Fascículo II, AEIST/UTL.
- Bana e Costa, C. & Beinat, E. (2011), Métodos e técnicas de análise regional, in Costa, S.; Nijkamp, P. & Dentinho, T (Eds.), *Compêndio da Economia Regional*, Principia, Vol. II, 611-645.
- Bana e Costa, C. & Vansnick, J. (1995), Uma nova abordagem ao problema da construção de uma função de valor cardinal: MACBETH, *Investigação Operacional*, Vol. 15(1), 15-35.
- Bana e Costa, C.; Corrêa, E.; De Corte, J. & Vansnick, J. (2002), Facilitating bid evaluation in public call for tenders: A socio-technical approach, *Omega – The International Journal of Management Science*, Vol. 30(3), 227-242.
- Bana e Costa, C.; Ensslin, L.; Corrêa, E. & Vansnick, J. (1999), Decision support systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process, *European Journal of Operational Research*, Vol. 113(2), 315-335.
- Bana e Costa, C.; Stewart, T. & Vansnick, J. (1997), Multicriteria decision analysis: Some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings, *European Journal of Operational Research*, Vol. 99(1), 28-37.

- Batagan, L. (2011), Indicators for economic and social development of future smart city, *Journal of Applied Quantitative Methods*, Vol. 6(3), 27-34.
- Bell, S. & Morse, S. (2013), Groups and facilitators within problem structuring processes, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 64(7), 959-972.
- Belton, V. & Hodgkin, J. (1999), Facilitators, decision makers, D.I.Y users: Is intelligent multicriteria decision support for all feasible or desirable?, *European Journal of Operational Research*, Vol. 113(2), 247-260.
- Belton, V. & Stewart, T. (2002), *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Beretta, I. (2018), The social effects of eco-innovations in Italian smart cities, *Cities*, Vol. 72(A), 115-121.
- Bonafoni, S.; Baldinelli, G. & Verducci, P. (2017), Sustainable strategies for smart cities: Analysis of the town development effect on surface urban heat island through remote sensing methodologies, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 29, 211-218.
- Bottero, M.; Ferretti, V. & Pomarico, S. (2014), Assessing different possibilities for the reuse of an open-pit quarry using the Choquet integral, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 21(1), 25-41.
- Bouyssou, D. (2005), OR in war and peace, The British experience from 1930s to 1970, *European Journal of OR*, Vol. 161, 292-294.
- Caragliu, A. & Bo, C. (2012), Smartness and European urban performance: Assessing the local impacts of smart urban attributes, *Innovation – The European Journal of Social Science Research*, Vol. 25(2), 97-113.
- Caragliu, A.; Bo, C. & Nijkamp, P. (2011), Smart cities in Europe, *Journal of Urban Technology*, Vol. 18(2), 65-82.
- Carli, R.; Dotoli, M.; Pellegrino, R. & Ranieri, L. (2013), Measuring and managing the smartness of cities: A framework for classifying performance indicators, *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, October 13-16, Manchester, UK, 1288-1293.
- Carlucci, D.; Schiuma, G.; Gavrilova, T. & Linzalone, R. (2013), A fuzzy cognitive map based approach to disclose value creation dynamics of ABIs, *Proceedings of the 8th International Forum on Knowledge Asset Dynamics*, June 12-14, Zagreb, Croatia, 207-219.

- Chitescu, I. & Plavitu, A. (2017), Computing Choquet integrals, *Fuzzy sets and systems*, Vol. 327, 48-68.
- Choquet, G (1953), The theory of capacities, *Annales de l'Institute Fourier*, Vol. 5, 131-295.
- Chowdhury, S. & Dhawan, S. (2016), Evaluation of key performance indicators of smartcities by Delphi analysis, *Proceedings of the IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics Information Communication Technology*, May 20-21, India, 337-342.
- Cinelli, M.; Coles, S. & Kirwan, K. (2014), Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment, *Ecological Indicators*, Vol. 46, 138-148.
- Corner, J.; Buchanan, J. & Henig, M. (2001), Dynamic decision problem structuring, *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, Vol. 10(3), 129-141.
- Cronin, K.; Midgley, G. & Jackson, L. (2014), Issues mapping: A problem structuring method for addressing science and technology conflicts, *European Journal of Operational Research*, Vol. 233(1), 145-158.
- Dall'O, G.; Bruni, E.; Panza, A.; Sarto, L. & Khayatian, F. (2017), Evaluation of cities' smartness by means of indicators for small and medium cities and communities: A methodology for Northern Italy, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 34(6), 193-202.
- Dvir, R. & Pasher, E. (2004), Innovation engines for knowledge cities: An innovation ecology perspective, *Journal of Knowledge Management*, Vol. 8(5), 16-27.
- Eden, C. (1994), Cognitive mapping and problem structuring for system dynamics model building, *System Dynamics Review*, Vol. 10(2/3), 257-276.
- Eden, C. (2004), Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems, *European Journal of Operational Research*, Vol. 159(3), 673-686.
- Ensslin, L.; Dutra, A. & Ensslin, S. (2000), MCDA: A constructivist approach to the management of human resources at a governmental agency, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 7(1), 79-100.
- Eremia, M.; Toma, L. & Sanduleac, M. (2017), The smart city concept in the 21st century, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference Interdisciplinarity in Engineering*, October 6-7, Romania, 12-19.

- Fernandes, I.; Ferreira, F.; Bento, P.; Jalali, M. & António, N. (2018), Assessing sustainable development in urban areas using cognitive mapping and MCDA, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, Vol 25(3), 216-226.
- Ferrara, G. (2016), Smart city: A geographical perspective, *Romanian Review on Political Geography*, Vol 8(2), 43-48.
- Ferreira, F. (2011), *Avaliação Multicritério de Agências Bancárias: Modelos e Aplicações de Decisão*, Faro: Universidade do Algarve.
- Ferreira, F.; Jalali, M. & Zavadskas, E. (2017), Assessing payment instrument alternatives using cognitive mapping and the Choquet integral, *Transformations in Business and Economics*, Vol. 16(2(41)), 170-187.
- Ferreira, F.; Santos, S. & Rodrigues, P. (2011), From traditional operational research to multiple criteria decision analysis: Basic ideas on an evolving field, *Problems and Perspectives in Management*, Vol. 9(3), 114-121.
- Ferreira, F.; Santos, S.; Rodrigues, P. & Spahr, R. (2014), How to create indices for bank branch financial performance measurement using MCDA techniques: An illustrative example, *Journal of Business Economics and Management*, Vol. 15(4), 708-728.
- Ferreira, F.; Spahr, R. & Sunderman, M. (2016), Using multiple criteria analysis (MCDA) to assist in estimating residential housing values, *International Journal of Strategic Property Management*, Vol. 20(4), 354-370.
- Ferreira, F.; Spahr, R.; Santos, S. & Rodrigues, P. (2012), A multiple criteria framework to evaluate bank branch potential attractiveness, *International Journal of Strategic Property Management*, Vol. 16(3), 254-276.
- Giffinger, R.; Fertner, C.; Kramar, H.; Kalasek, R.; Pichler-Milanovic, N. & Meijers, E. (2007), *Smart Cities – Ranking of European Medium-sized Cities*, Vienna: Centre of Regional Science, Vienna University of Technology.
- Girardi, P. & Temporelli, A. (2017), Smartainability: a methodology for assessing the sustainability of the smart city, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Sustainability in Energy and Buildings*, September 11-13, Turin, Italy, 810-816.
- Gomes, L.; Machado, M. & Ranger, L. (2015), The multiple choice problem with interactions between criteria, *Pesquisa Operacional*, Vol. 35(3), 523-537.
- Greco, S.; Matarazzo, B. & Slowinski, R. (2001), Rough sets theory for multicriteria decision analysis, *European Journal of Operational Research*, Vol. 129(1), 1-47.

- Gul, M.; Celik, E.; Gumus, A. & Guneri, A. (2018), A fuzzy logic based PROMETHEE method for material selection problems, *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 7(1), 68-79.
- Gürbüz, T. (2010), Multiple criteria human performance evaluation using Choquet integral, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 3(3), 290-300.
- Hajduk, S. (2016), The concept of smart city in urban management, *Business, Management and Education*, Vol. 14(1), 34-49.
- Hashem, I.; Chang, V.; Anuar, N.; Adewole, K.; Yaqoob, I.; Gani, A.; Ahmed, E. & Chiroma, H. (2016), The role of big data in smart city, *International Journal of Information Management*, Vol. 36(5), 748-758.
- Hassan, A. & Lee, H. (2015), The paradox of the sustainable city: definitions and examples, *Environment, Development and Sustainability*, Vol. 17(6), 1267-1285.
- Heidrich, O.; Hill, G.; Neaimeh, M.; Huebner, Y.; Blythe, P. & Dawson, R. (2017), How do cities support electric vehicles and what difference does it make?, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 123, 17-23.
- Huang, L.; Wu, J. & Yan, L. (2015), Defining and measuring urban sustainability: a review of indicators, *Landscape Ecology*, Vol. 30(7), 1175-1193.
- Keeney, R. (1992), *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decision Making*, Harvard: Harvard University Press.
- Kitchin, R. (1994), Cognitive maps: What are they and why study them?, *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 14(1), 1-19.
- Komnimos, N. (2006), The architecture of intelligent cities: Integrating human, collective, and artificial intelligence to enhance knowledge and innovation, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Intelligent Environments*, July 5-6, Athena, 13-20.
- Kourtit, K. & Nijkamp, P. (2012), Smart cities in the innovation age, *Innovation - The European Journal of Social Science Research*, Vol. 25(2), 93-95.
- Kourtit, K.; Nijkamp, P. & Arribas, D. (2012), Smart cities in perspective – A comparative European study by means of self-organizing maps, *Innovation – The European Journal of Social Science Research*, Vol. 25(2), 229-246.
- Kourtit, K.; Nijkamp, P. & Steenbruggen, J. (2017), The significance of digital data systems for smart city policy, *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 58(C), 13-21.

- Kpoumié, A.; Damart, S. & Tsoukiàs, A. (2012), *Integrating Cognitive Mapping Analysis into Multi-Criteria Decision Aiding*, France: Laboratoire d'Analyses et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision.
- Krishnan, A.; Kasim, M. & Bakar, E. (2015), A short survey on the usage of Choquet integral and its associated fuzzy measures in multiple attribute analysis, *Proceedings of the International Conference on Computer Science and Computational Intelligence (ICCSCI 2015)*, August 24-26, Jakarta, Indonesia, 427-434.
- Kummitha, R. & Crutzen, N. (2017), How do we understand smart cities? An evolutionary perspective, *Cities*, Vol. 67, 43-52.
- Lazaroiu, G. & Roscia, M. (2012), Definition methodology for the smart cities model, *Energy*, Vol. 47(1), 326-332.
- Letaifa, S. (2015), How to strategize smart cities: Revealing the SMART model, *Journal of Business Research*, Vol. 68(7), 1414-1419.
- Llamazares, B. (2015), Constructing Choquet integral-based operators that generalize weighted means and OWA operators, *Information Fusion*, Vol. 23, 131-138.
- Lombardi, P.; Giordano, S.; Caragliu, A.; Bo, C.; Deakin, M.; Nijkamp, P. & Kourtit, K. (2011), An advanced triple-helix network model for smart cities performance, in Erkoscun, O. (Ed.), *Green and Ecological Technologies for Urban Planning: Creating Smart Cities*, Hershey, PA: IGI Global, 59-73.
- Lombardi, P.; Giordano, S.; Farouh, H. & Yousef, W. (2012), Modelling the smart city performance, *Innovation – The European Journal of Social Science Research*, Vol. 25(2), 137-149.
- Lorr, M. (2012), Defining urban sustainability in the context of North American cities, *Nature and Culture*, Vol. 7(1), 16-30.
- Mackenzie, A.; Pidd, M.; Rooksby, J.; Sommerville, I.; Warren, I. & Westcombe, M. (2006), Wisdom, decision support and paradigms of decision making, *European Journal of Operational Research*, Vol. 170(1), 156-171.
- Marchant, T. (1999), Cognitive maps and fuzzy implications, *European Journal of Operational Research*, Vol. 114(3), 626-637.
- Marsal-Llacuna, M. (2016), City indicators on social sustainability as standardization technologies for smarter (citizen-centered) governance of cities, *Social Indicators Research*, Vol. 128(3), 1193-1216.

- Marttunen, M.; Lienert, J. & Belton, V. (2017), Structuring problems for multi-criteria analysis in practice: A literature review of method combinations, *European Journal of Operational Research*, Vol. 263(1), 1-17.
- Mattoni, B.; Gugliermetti, F. & Bisegna, F. (2015), A multilevel method to assess and design the renovation and integration of smart cities, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 15, 105-119.
- Mesiarová-Zemánková, A.; Mesiar, R. & Ahmad, K. (2010), The balancing Choquet integral, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 161(17), 2243-2255.
- Mingers, J. & Rosenhead, J. (2004), Problem structuring methods in action, *European Journal of Operational Research*, Vol. 152(3), 530-554.
- Mohanty, S.; Choppali, U. & Kougianos, E. (2016), Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone, *IEEE Consumer Electronics Magazine*, Vol. 5(3), 60-70.
- Murofushi, T. & Sugeno, M. (1991), A theory of fuzzy measures: Representations, the Choquet integral, and null sets, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, Vol. 159(2), 532-349.
- Phillis, Y.; Kouikoglou, V. & Verdugo, C. (2017), Urban sustainability assessment and ranking cities, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 64, 254-265.
- Popescu, G. (2015), The economic value of smart city technology, *Economics, Management and Financial Markets*, Vol. 10(4), 76-82.
- Portney, K. & Sansom, G. (2017), Sustainable cities and healthy cities: Are they the same?, *Urban Planning*, Vol. 2(3), 45-55.
- Prud'homme van Reine, P. (2013), Creating cultures of sustainable innovation, *Journal of Innovation Management*, Vol. 1(1), 85-107.
- Ralescu, D. & Adams, G. (1980), The fuzzy integral, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, Vol. 75(2), 562-570.
- Rosenhead, J. (1996), What's the problem? An introduction to problem structuring methods, *Interfaces*, Vol. 26(6), 117-131.
- Rosenhead, J. (2006), Past, present and future of problem structuring methods, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 57(7), 759-765.
- Roy, B. (1985), *Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision*, Paris: Economica.
- Roy, B. (1996), *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, Paris: Kluwer Academic Publishers.
- Saaty, T. (1980), *The Analytic hierarchy process*, New York: McGraw-Hill.

- Santos, S. (2002), Adding value to performance measurement by using system dynamics and multicriteria analysis, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22(11), 1246-1272.
- Siuryte, A. & Davidaviciene, V. (2016), An analysis of key factors in developing a smart city, *Business in XXI Century*, Vol. 8(2), 254-262.
- Snow, C.; Hakonsson, D. & Obel, B. (2016), A smart city is a collaborative community: Lessons from smart Aarhus, *California Management Review*, Vol. 59(1), 92-108.
- Sousa, M. (2006), The sustainable innovation engine, *The Journal of Information and Knowledge Management Systems*, Vol. 34(6), 398-405.
- Sta, H. (2017), Quality and the efficiency of data in “smart-cities”, *Future Generation Computer Systems*, Vol. 74, 409-416.
- Sujata, J.; Saksham, S.; Tanvi, G. & Shreya (2016), Developing smart cities: An integrated framework, *Procedia Computer Science*, Vol. 93, 902-909.
- Susanti, R.; Soetomo, S.; Buchori, I. & Brotosunaryo (2016), Smart growth, smart city and density: in search of the appropriate indicator for residential density in Indonesia, *Proceedings of the CITIES 2015 International Conference, Intelligent Planning Towards Smart Cities*, November 3-4, Surabaya, Indonesia, 194-201.
- Talari, S.; Shafie-khah, M.; Siano, P.; Loia, V.; Tommasetti, A. & Catalão, J. (2017), A review of smart cities based on the internet of things concept, *Energies*, Vol. 10(4), 1-23.
- Timonin, M. (2013), Robust optimization of the Choquet integral, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 213, 27-46.
- Torra, V. & Narukawa, Y. (2016), Numerical integration for the Choquet integral, *Information Fusion*, Vol. 31(C), 137-145.
- Tranos, E. & Gertner, D. (2012), Smart networked cities?, *Innovation – The European Journal of Social Science Research*, Vol. 25(2), 175-190.
- Turban, E. (1995), *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems*, New Jersey: Prentice Hall.
- Voegtlin, C. & Scherer, A. (2017), Responsible innovation and the innovation of responsibility: Governing sustainable development in a globalized world, *Journal of Business Ethics*, Vol. 143(2), 227-243.
- Wang, H.; Duanmu, L.; Lahdelma, R. & Li, X. (2017), Developing a multicriteria decision support framework for CHP based combined districts heating systems, *Applied Energy*, Vol. 205, 343-368.

- Wang, R. (2011), Some inequalities and convergence theorems for Choquet integrals, *Journal of Applied Mathematics and Computing*, Vol. 35(1/2), 305-321.
- WCED – World Commission on Environment and Development (1987), *Our Common Future*, New York: Oxford University Press.
- Winters, J. (2011), Why are smart cities growing? Who moves and who stays?, *Journal of Regional Science*, Vol. 51(2), 253-270.
- Yigitcanlar, T. & Kamruzzaman, M. (2015), Planning, development and management of sustainable cities: A commentary from the guest editors, *Sustainability*, Vol. 7(11), 14677-14688.
- Zhang, X. & Li, H. (2018), Urban resilience and urban sustainability: What we know and what do not know?, *Cities*, Vol.72(A), 141-148.
- Zuccalà, M. & Verga, E. (2017), Enabling energy smart cities through urban sharing ecosystems, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Sustainability in Energy and Buildings*, September 11-13, Turin, Italy, 826-835.
- Zygiaris, S. (2012), Smart city reference model: Assisting planners to conceptualize the building of smart city innovation ecosystems, *Journal of the Knowledge Economy*, Vol. 4(2), 217-231.

**APÊNDICE**  
MATRIZ DE INTERAÇÕES

CRT01 Serviços	CRT02 Planeamento e Ambiente	CRT03 Pessoas	CRT04 Transportes e Mobilidade	CRT05 Infraestruturas e Materiais	CRT06 Tecnologia	Ponderação
Mau	Mau	Mau	Mau	Mau	Mau	0
Bom	Mau	Mau	Mau	Mau	Mau	0
Mau	Bom	Mau	Mau	Mau	Mau	1
Mau	Mau	Bom	Mau	Mau	Mau	0
Mau	Mau	Mau	Bom	Mau	Mau	0
Mau	Mau	Mau	Mau	Bom	Mau	0
Mau	Mau	Mau	Mau	Mau	Bom	1
Bom	Bom	Mau	Mau	Mau	Mau	2
Bom	Mau	Bom	Mau	Mau	Mau	2
Bom	Mau	Mau	Bom	Mau	Mau	2
Bom	Mau	Mau	Mau	Bom	Mau	1
Bom	Mau	Mau	Mau	Mau	Bom	2
Mau	Bom	Bom	Mau	Mau	Mau	2
Mau	Bom	Mau	Bom	Mau	Mau	2
Mau	Bom	Mau	Mau	Bom	Mau	2
Mau	Bom	Mau	Mau	Mau	Bom	3
Mau	Mau	Bom	Bom	Mau	Mau	2
Mau	Mau	Bom	Mau	Bom	Mau	1
Mau	Mau	Bom	Mau	Mau	Bom	3
Mau	Mau	Mau	Bom	Bom	Mau	1
Mau	Mau	Mau	Bom	Mau	Bom	2
Mau	Mau	Mau	Mau	Bom	Bom	2
Bom	Bom	Bom	Mau	Mau	Mau	4
Bom	Bom	Mau	Bom	Mau	Mau	4
Bom	Bom	Mau	Mau	Bom	Mau	4
Bom	Bom	Mau	Mau	Mau	Bom	5
Bom	Mau	Bom	Bom	Mau	Mau	5

Bom	Mau	Bom	Mau	Bom	Mau	4
Bom	Mau	Bom	Mau	Mau	Bom	6
Bom	Mau	Mau	Bom	Bom	Mau	4
Bom	Mau	Mau	Bom	Mau	Bom	5
Bom	Mau	Mau	Mau	Bom	Bom	5
Mau	Bom	Bom	Bom	Mau	Mau	5
Mau	Bom	Bom	Mau	Bom	Mau	4
Mau	Bom	Bom	Mau	Mau	Bom	6
Mau	Bom	Mau	Bom	Bom	Mau	4
Mau	Bom	Mau	Bom	Mau	Bom	5
Mau	Bom	Mau	Mau	Bom	Bom	5
Mau	Mau	Bom	Bom	Bom	Mau	4
Mau	Mau	Bom	Bom	Mau	Bom	6
Mau	Mau	Bom	Mau	Bom	Bom	5
Mau	Mau	Mau	Bom	Bom	Bom	5
Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Mau	7
Bom	Bom	Bom	Mau	Bom	Mau	6
Bom	Bom	Bom	Mau	Mau	Bom	7
Bom	Mau	Bom	Bom	Bom	Mau	5
Bom	Mau	Bom	Bom	Mau	Bom	6
Bom	Mau	Bom	Mau	Bom	Bom	6
Bom	Mau	Bom	Mau	Bom	Bom	6
Bom	Mau	Bom	Mau	Bom	Bom	6
Bom	Mau	Bom	Mau	Bom	Bom	6
Mau	Bom	Bom	Bom	Bom	Mau	6
Mau	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	8
Mau	Bom	Bom	Mau	Bom	Bom	7
Mau	Bom	Mau	Bom	Bom	Bom	7
Mau	Mau	Bom	Bom	Bom	Bom	7
Bom	Bom	Mau	Mau	Bom	Bom	6
Bom	Bom	Mau	Bom	Mau	Bom	7
Bom	Bom	Mau	Bom	Bom	Mau	7
Bom	Bom	Mau	Bom	Bom	Mau	5

Mau	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	9
Bom	Mau	Bom	Bom	Bom	Bom	8
Bom	Bom	Mau	Bom	Bom	Bom	8
Bom	Bom	Bom	Mau	Bom	Bom	8
Bom	Bom	Bom	Bom	Mau	Bom	9
Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Mau	8
Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	10